

Estudo do desempenho energético de uma casa unifamiliar com implementação de sistemas solares passivos e ativos

Ricardo Filipe Castro Pinheiro

Dissertação de Mestrado

Orientador: Prof. Ana Isabel Palmero Marrero



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Especialização em Energia Térmica

Junho de 2017

Ao meu avô

Resumo

Nesta dissertação é efetuada uma análise energética de uma habitação antiga (37 anos) situada em Rio Tinto, Gondomar. No estudo energético foram calculadas as necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais com o objetivo de se obterem temperaturas de conforto ao longo do ano.

Para isso foi criado um modelo 3D da habitação no *software* GoogleSketchup, posteriormente exportado para o *software* de simulação TRNSYS. No TRNSYS foram definidos os elementos da envolvente exterior, taxas de infiltração e horários de ocupação com o objetivo de aproximar o comportamento térmico do modelo, à situação real.

O estudo das necessidades energéticas foi realizado para um período anual, resultando em valores de necessidades de aquecimento não conformes com a legislação, algo esperado devido às atuais soluções construtivas da habitação.

Um segundo modelo foi proposto, modelo este que inclui soluções solares passivas e ativas. As soluções solares passivas incluíram a instalação de isolamento exterior, mudança do tipo de janelas, e ainda um horário de abertura e fecho de portadas exteriores. Com estas modificações, foi realizada uma nova simulação anual tendo sido obtidas diminuições energéticas significativas.

Em relação às soluções solares ativas, foi estudado o uso de biomassa para climatização, a implementação de um sistema fotovoltaico, sistema de aquecimento de águas sanitárias e a possível instalação de uma bomba de calor.

Os resultados mostram que a integração das soluções consideradas (passivas e ativas) garantem uma melhoria em conforto e poupanças energéticas e monetárias, conseguindo-se um consumo energético de 70% com soluções de base renovável. Para além disso, os sistemas ativos propostos são economicamente viáveis.

O trabalho exposto nesta dissertação foi também convertido para formato de artigo e enviado para *16th International Conference on Sustainable Energy Technologies* (SET 2017). O título do artigo é “*Energy assessment of the implementation of renewable energies in a Portuguese household*” e já foi confirmada a sua aprovação no congresso. Este congresso irá decorrer em Bolonha entre as datas 17 e 20 de Julho de 2017.

Palavras Chave: Eficiência Energética; Modelação de edifícios; TRNSYS; Energias renováveis

Abstract

This thesis, presents an energy analysis of an old residential building (37 years old) in Rio Tinto, Gondomar. In this energy study, annual heating and cooling requirements were calculated in order to obtain comfort temperatures throughout the year.

For this, a 3D model of the building was made using GoogleSketchup, which was later exported to the TRNSYS simulation software. In TRNSYS, external envelope elements, infiltration rates and occupation schedules were defined to approximate the thermal behavior of the model to the actual situation.

The study of the energetic needs was carried out for an annual period, resulting in heating needs not in accordance with the legislation, something expected due to the current constructive solutions of the housing.

A second model was proposed, which included passive and active solar solutions. The passive solar solutions included the installation of external insulation, change of the type of windows, and an opening/closing schedule for exterior shading devices. With these modifications, a new annual simulation was performed and significant energy decreases were obtained.

As to the active solar solutions, the use of biomass for air conditioning, the implementation of a photovoltaic system, sanitary water heating system and the possible installation of a heat pump were studied.

The results show that the integration of the considered solutions (passive and active) guarantees an improvement in comfort and energy and monetary savings, achieving an energy consumption of 70% with renewable base solutions. In addition, the proposed active systems are economically viable.

The work displayed in this dissertation was also converted to article format and sent to the 16th International Conference on Sustainable Energy Technologies (SET 2017). The title of the article is "Energy assessment of the implementation of renewable energies in a Portuguese household" and its approval was confirmed at the congress. This congress will take place in Bologna between July 17 and 20, 2017.

Keywords: Energy Efficiency; Building Simulation; TRNSYS; Renewable Energy

Agradecimentos

Começo por manifestar o agradecimento à professora Ana Palmero pela orientação prestada durante todo o semestre e, pela oportunidade de poder apresentar este trabalho no formato de artigo.

Gostaria de também agradecer aos meus amigos e família, que me acompanharam ao longo do meu percurso académico, apoiando-me incondicionalmente tanto nos bons, como nos maus momentos.

Um obrigado à Joana pelo carinho, ajuda e paciência prestada, e por último, mas não menos importante, um agradecimento especial ao meu avô que não só me disponibilizou todas as informações necessárias para a realização desta dissertação, como também me inspira todos os dias a ser uma pessoa melhor.

Muito obrigado a todos!

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice	ix
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas	xiii
Abreviaturas	xv
Nomenclatura	xv
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos a atingir	4
1.3 Estrutura da dissertação	4
2. Legislação e Conceitos	6
2.1 Evolução legislativa em Portugal	6
2.2 RCCTE e REH.....	7
2.3 Zoneamento climático	8
2.4 Coeficientes de referência e limite da envolvente opaca	9
2.5 Ventilação Natural	10
2.6 Necessidades de aquecimento e arrefecimento	12
2.7 N-ZEB.....	13
2.8 Descrição do Trnsys e Meteonorm	14
3. Descrição da habitação	15
3.1 Descrição geral	15
3.2 Clima local.....	16
3.3 Propriedades térmicas das soluções construtivas atuais	16
3.3.1 Paredes da envolvente exterior.....	16
3.3.2 Janelas	17
3.3.3 Pavimentos	18
3.3.4 Cobertura.....	19
3.4 Ganhos Internos	20
3.5 Sombreadores	20
3.6 Taxa de renovações de ar.....	20

3.7 Temperaturas operativas	21
4. Modelos de Simulação	22
4.1 Descrição do processo de modelação.....	22
4.2 Modelo 1 (situação real)	31
4.3 Modelo 2 (melhoramento com solar passiva)	31
4.4 Modelo 2 (melhoramento com soluções solares ativas).....	32
5. Resultados dos Modelos 1 e 2	33
5.1 Resultados do Modelo 1	33
5.1.1 Temperaturas internas no Modelo 1	33
5.1.2 Necessidades energéticas do Modelo 1	35
5.2 Resultados do Modelo 2.....	37
5.2.1 Temperaturas internas do Modelo 2	37
5.2.2 Necessidades energéticas do Modelo 2	39
5.3 Comparação entre o Modelo 1 e Modelo 2.....	39
5.3.1 Temperaturas interiores	39
5.3.2 Necessidades de aquecimento e efeito do isolamento	40
5.3.3 Necessidades de arrefecimento e efeito das portadas	42
5.4 Sumário dos resultados	43
6. Soluções de base Renovável	44
6.1 Biomassa	44
6.2 Produção de Eletricidade	45
6.3 Bomba de Calor	48
6.4 AQS.....	50
6.5 Análise económica preliminar.....	51
6.6 Análise energética final.....	59
7. Conclusões e Trabalhos futuros.....	61
7.1 Trabalhos futuros	62
Referências	63
Anexo A – Desenho da Habitação.....	65
Anexo B – Cálculos.....	67
Anexo C – Documentos Técnicos	76
Resumo do artigo para o congresso SET 2017(16th International Conference on Sustainable Energy Technologies), 17 a 20 de julho de 2017, Bolonha, Italia.....	80

Lista de Figuras

Figura 1: Consumo final de energia por setor [4].	1
Figura 2: Parque edificado europeu [5].	2
Figura 3: Categorização por idades do edificado europeu [5].	2
Figura 4: Consumos médios para aquecimento ambiente (kWh/m ² .ano) de habitações unifamiliares por ano de construção [5].	3
Figura 5: Evolução legislativa portuguesa [11].	7
Figura 6: Zona climática de Inverno (esquerda) e de Verão (direita) no continente, segundo o REH [12].	8
Figura 7: Zona climática de Inverno (esquerda) e de Verão (direita) no continente, segundo o RCCTE [8].	9
Figura 8: Possível definição de NZEB [17]	13
Figura 9: Fachada Norte e Oeste	15
Figura 10: Fachada Este	15
Figura 11: Fachada Sul.	15
Figura 12: Fachada Oeste	15
Figura 13: Variação anual da temperatura exterior (à direita) e radiação global (à esquerda).	16
Figura 14: Cálculo temperatura operativa [23]	21
Figura 15: Ilustração do funcionamento das zonas termais.	22
Figura 16: Zona termal não ativa e zona termal ativa	23
Figura 17: Fachada Sul e Oeste (à esquerda) e fachada Norte e Este (à direita).	23
Figura 18: Representação 3D do segundo Piso	24
Figura 19: Objeto de sombreamento (a roxo)	24
Figura 20: Fachadas Norte e Este (à direita) e fachadas Sul e Oeste (à direita).	25
Figura 21: Parâmetros entrada do 3D-Building Wizard.	25
Figura 22: Interface gráfica do sistema Standart.	26
Figura 23: Wall type manager (parede exterior)	27
Figura 24: Definição das condições fronteira (chão)	27
Figura 25: Window library	28
Figura 26: Exemplo de controlo de sombreamentos externos.	29
Figura 27: Horário ocupacional.	30
Figura 28: Horário iluminação	30
Figura 29: Ganhos internos do segundo piso	30
Figura 30: Heating (à direita) e Cooling type Manager (à esquerda).	31

Figura 31: Sistema fotovoltaico no TRNSYS	32
Figura 32: Sistema AQS no SolTerm.....	32
Figura 33: Variação anual das temperaturas interiores no Modelo 1 (1 RPH).....	33
Figura 34: Temperatura das zonas termais do Modelo 1 (1 RPH) durante o dia 21 de Julho	34
Figura 35: Temperatura das zonas termais do Modelo 1 (1 RPH) durante o dia 12 de Janeiro	34
Figura 36: Variação anual das temperaturas no Modelo 2 (I3-0,6 RPH)	37
Figura 37: Temperaturas Modelo 2 (I3 - 0,6 RPH) durante o dia 21 Julho.....	38
Figura 38: Temperaturas do Modelo 2 (I3 - 0,6 RPH) durante o dia 12 Janeiro	38
Figura 39: Necessidades de aquecimento mensais do Modelo 1 e Modelo 2 (0,8 RPH)	41
Figura 40: Necessidades de aquecimento mensais do Modelo 1 (1 RPH) e Modelo 2 (0,6 RPH).....	41
Figura 41: Necessidades de arrefecimento dos Modelos 1 e 2.....	42
Figura 42: Vista aérea da propriedade, localização 1 (a vermelho) e localização 2 (a amarelo).....	45
Figura 43: Percurso solar no dia 21 de Dezembro (à direita) e no dia 21 Junho (à esquerda)	46
Figura 44: Visão aérea da cobertura	50
Figura 45: Horário de banho dos ocupantes	50
Figura 46: Performance dos painéis PV	53
 Anexo C. 1: Catálogo do módulo PV	 77
Anexo C. 2: Catálogo do coletor solar	78
Anexo C. 3: Catálogo das bombas de calor.....	79

Lista de Tabelas

Tabela 1: Critérios para determinação da zona climática de Inverno [12].....	8
Tabela 2: Critérios para a determinação da zona climática de Verão [12].....	8
Tabela 3: Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência [8] [14].....	10
Tabela 4: Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos [8] [14].....	10
Tabela 5: Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fração autónoma [8].....	11
Tabela 6: Valores convencionais de RPH para edifícios de habitação [8].....	11
Tabela 7: Características dos elementos construtivos das paredes exteriores.....	17
Tabela 8: Áreas e percentagem de envidraçados por fachada e por piso.....	17
Tabela 9: Características dos elementos construtivos dos pavimentos entre pisos.....	19
Tabela 10: Características dos elementos construtivos da cobertura.....	19
Tabela 11: Horários de ocupação.....	20
Tabela 12: Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais para 1 RPH (Modelo 1).....	35
Tabela 13: Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais para 0,8 RPH (Modelo 1).....	36
Tabela 14: Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais no Modelo 2.....	39
Tabela 15: Temperaturas médias dos Modelos 1 e 2 por estação.....	40
Tabela 16: Necessidades energéticas anuais do Modelo 1 e Modelo 2.....	43
Tabela 17: Quantidade de madeira necessária anualmente.....	44
Tabela 18: Quantidade de madeira necessária durante a estação de aquecimento (6 horas).....	45
Tabela 19: Produção elétrica mensal e anual.....	47
Tabela 20: Potências máximas.....	48
Tabela 21: Energia anual adicional necessária para alimentar a bomba de calor.....	49
Tabela 22: Energia adicional necessária para alimentar a bomba de calor(estação aquec. durante 6 horas)	49
Tabela 23: Frações solares mensais e anuais.....	51
Tabela 24: Custo da biomassa necessária para a estação de aquecimento (6 horas).....	52
Tabela 25: Previsão económica durante 25 anos (4 m ²).....	54
Tabela 26: Síntese análise económica do sistema PV.....	55
Tabela 27: Custo elétrico adicional para o Modelo 1.....	56
Tabela 28: Componentes sistema AQS [31].....	57
Tabela 29: Previsão económica sistema AQS.....	58
Tabela 30: Indicadores económicos sistemas AQS.....	58
Tabela 31: Consumo energético anual.....	59

Tabela B.1: Necessidades de aquecimento Modelo 1	69
Tabela B.2: Necessidades aquecimento Modelo 2 (Isol 3 cm).....	69
Tabela B.3: Necessidades de aquecimento Modelo 2 (Isol 5 cm)	70
Tabela B.4: Necessidades de aquecimento Modelo 2 (Isol 7 cm)	70
Tabela B.5: Necessidades de arrefecimento Modelo 1	71
Tabela B.6: Necessidades de arrefecimento Modelo 2 (Isol 3 cm)	71
Tabela B.7: Necessidades de arrefecimento Modelo 2 (Isol 5 cm)	72
Tabela B.8: Necessidades de arrefecimento Modelo 2 (Isol 7 cm)	72
Tabela B.9: Tabela de cálculo RCCTE	73
Tabela B.10: Previsão económica sistema PV (6 m ²)	74
Tabela B.11: Indicadores económicos sistema PV (6 m ²).....	74
Tabela B.12: Previsão económica sistema PV (8 m ²)	75
Tabela B.13: Indicadores económicos sistema PV (8 m ²).....	75

Abreviaturas

AQS	Aquecimento de águas sanitárias
BPIE	<i>Building Performance Institute Europe</i>
FPC	<i>Flat plate collector</i>
FF	Fração autónoma
GEE	Gases efeito estufa
IVA	Imposto sobre o valor acrescentado
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
Mtep	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo
N-ZEB	<i>Net Zero Energy Building</i>
PV	<i>Photovoltaic</i>
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
RSECE	Regulamento dos Sistemas de Energia e de Climatização de Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior
TIR	Taxa interna de retorno
UE	União europeia
VAL	Valor atual líquido

Nomenclatura

λ	Condutividade térmica	W/mK
η_k	Rendimento do sistema	-
$\theta_{\text{ext,v}}$	Temperatura exterior verão	°C
A_p	Área útil do pavimento	m ²
B'	Dimensão característica	m
$\text{Consumo}_{\text{ele}}$	Energia elétrica consumida	kWh
$\text{Consumo}_{\text{prop}}$	Propano consumido	kWh
COP	Coefficiente de performance	W/W
clo	Resistência térmica da roupa	clo
D	Profundidade do isolamento	m
E_{nec}	Energia de biomassa equivalente	kWh

$Energia_{PV}$	Produção elétrica do sistema fotovoltaico	kWh
$Energia_{rede}$	Energia adicional da rede elétrica	kWh
GD	Graus-dia	°C
g	Transmissão de energia solar do vidro	-
met	Atividade metabólica	met
Ni	Necessidades nominais de energia útil para aquecimento	kWh/m ² .ano
Nv	Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento	kWh/m ² .ano
PCI	Poder calorífico inferior	kJ/kg
P	Perímetro	m
Q _{aquec}	Necessidades de aquecimento	kWh
Q _{arref}	Necessidades de arrefecimento	kWh
Q _{prop}	Quantidade de propano equivalente	kg
R _f	Resistência térmica	m ² K/W
RPH	Renovações por hora	1/h
t	Taxa de desconto	-
T	Temperatura	°C
T _{ext}	Temperatura exterior	°C
T _{méd}	Temperatura média	°C
U-Value	Coeficiente de transmissão térmica	W/m ² K
U _{máx}	Coeficiente de transmissão térmica superficial máximo	W/m ² K
U _{ref}	Coeficiente de transmissão térmica superficial de referência	W/m ² K

1. Introdução

O presente capítulo tem como principal objetivo apresentar o enquadramento e descrever os objetivos e estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento

Com o desenvolvimento da sociedade estão também associadas maiores exigências energéticas. O uso sustentável de recursos para satisfazer estas necessidades apresenta um papel cada vez mais importante nas preocupações da comunidade europeia.

Para assegurar um futuro energeticamente sustentável, a Europa comprometeu-se a reduzir as suas emissões de GEE em 80-95% até 2050, e, a curto prazo, reduzir os GEE em 20%, aumentar a participação de renováveis em 20% e poupar 20% de energia até 2020 [1].

As políticas energéticas e os esforços realizados pelos Estados Membros levaram a que, em 2015, fosse atingido um dos menores valores de consumo de energia primária nos últimos 9 anos. Segundo dados fornecidos pelo Eurostat, em 2015 o consumo de primário de energia foi de 1529,6 Mtep, o que representa uma redução de 11,18% comparativamente ao ano de 2006, ano este com o maior valor histórico [2]. Este resultado coloca a Europa mais perto de um dos objetivos traçados para 2020, necessitando apenas de uma redução percentual de 3,1% para alcançar a meta de 1483 Mtep de consumo de energia primária [3].

Apesar dos resultados otimistas, é necessário continuar esta política energética e descobrir onde podem ser obtidas reduções energéticas significativas. Para isso é essencial caracterizar como é utilizada a energia, estudando o consumo de cada um dos diferentes setores. O gráfico apresentado na Figura 1 mostra a distribuição final de energia pelos diferentes setores.

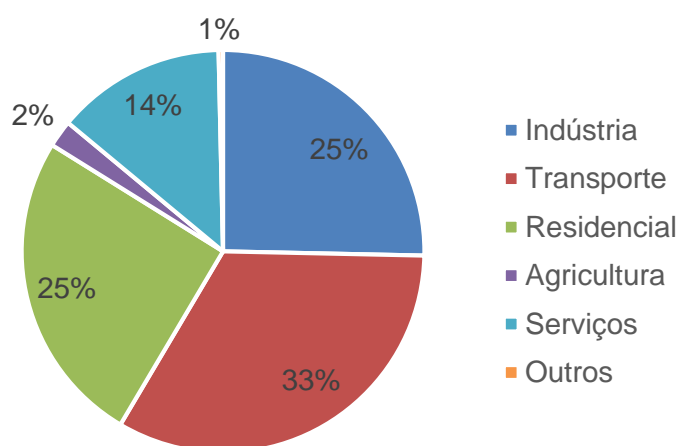


Figura 1: Consumo final de energia por setor [4].

Pela observação do gráfico apresentado, pode-se concluir que o setor residencial apresenta-se como um dos principais consumidores de energia a nível europeu.

Analisando o espaço destinado à construção, dos 25 mil milhões de m² de superfície útil na UE-27, Suíça e Noruega, 75% da área construída destina-se a fins residenciais (Figura 2).

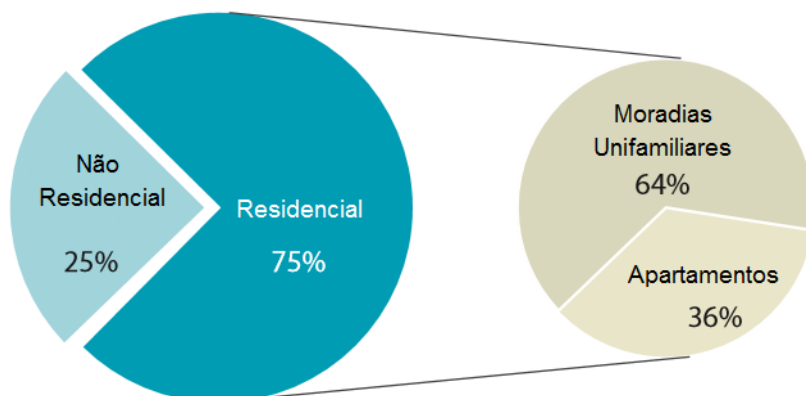


Figura 2: Parque edificado europeu [5].

Devido à heterogeneidade de características ambientais, históricas e sociais dos países constituintes da comunidade europeia, os edifícios espalhados pelo território europeu apresentam, não só diferenças nas características construtivas, como também nos períodos de construção.

Em 2011, um questionário realizado pelo BPIE (2011), onde os edifícios residenciais foram classificados por idades, concluiu que a maior percentagem dos edifícios existentes no território europeu foram construídos entre 1961 e 1990. Em segundo lugar aparecem os edifícios “recentes”, construídos entre 1991 e 2010 e, por fim, os edifícios construídos antes de 1960. A Figura 3 mostra a repartição percentual destes.

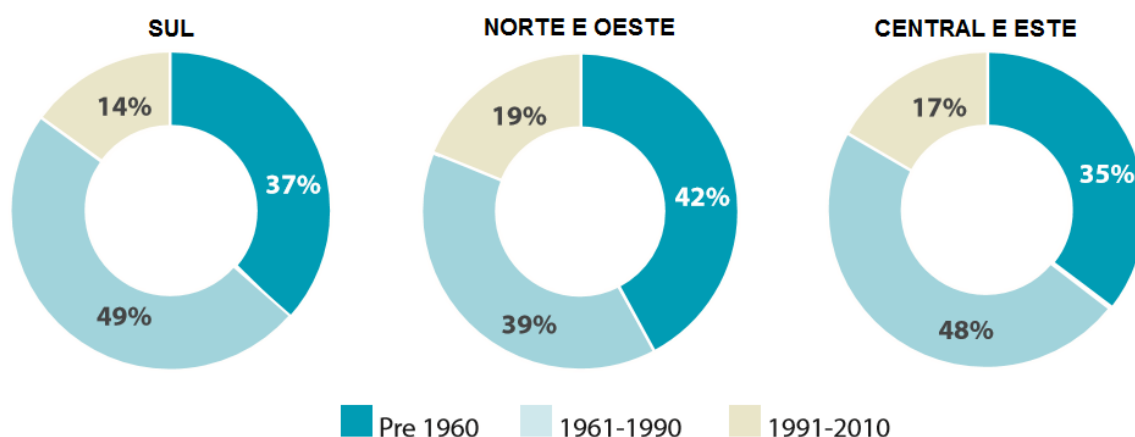


Figura 3: Categorização por idades do edificado europeu [5].

Este cenário mostra uma Europa envelhecida, com cerca de 40% dos edifícios construídos antes de 1960, quando os regulamentos energéticos eram bastante limitados, ou mesmo nulos.

No caso de Portugal, existem cerca de 2 509 705 edifícios construídos antes de 1990, ano da publicação do primeiro RCCTE, correspondendo a 70% do total de edifícios existentes em 2012 (após o CENSOS 2011) [6].

Associados a edifícios com baixos desempenhos térmicos estão elevados consumos energéticos.

Um variado número de variáveis pode afetar o desempenho térmico de um edifício. Fatores como o tipo de sistema de aquecimento utilizado, condições climáticas, ganhos internos, condições sociais (tipo de combustível disponível, rendimentos...) irão afetar as necessidades energéticas necessárias para níveis mínimos de conforto dos ocupantes [5].

Dentro dos edifícios residenciais, os maiores gastos energéticos estão relacionados com aquecimento ambiente, sendo que estes são fortemente afetados pelas propriedades construtivas do edifício. Na Figura 4 estão representados os consumos específicos de aquecimento para três países das três diferentes regiões climáticas consideradas no estudo do BPIE em 2011: à esquerda a Alemanha (região Norte e Oeste), no centro Portugal (região sul) e à direita a Bulgária (região Central e Este).

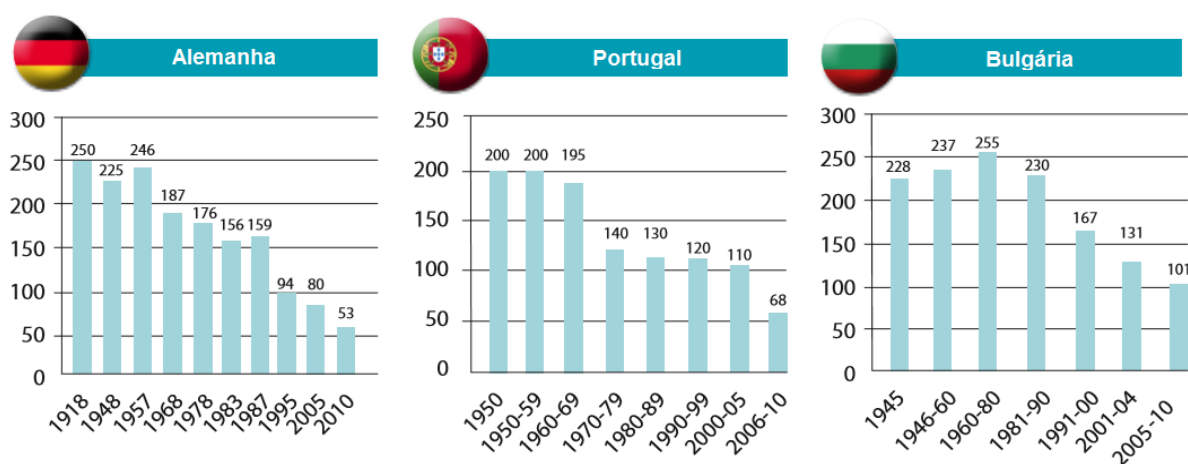


Figura 4: Consumos médios para aquecimento ambiente (kWh/m².ano) de habitações unifamiliares por ano de construção [5].

Pela análise da Figura 4 é possível observar a relação direta entre necessidades de aquecimento e período de construção, o que significa que poupanças energéticas consideráveis podem ser obtidas reabilitando a envolvente de edifícios antigos.

Num clima de crise económica e energética, a reabilitação de edifícios propõe não só uma possibilidade de negócio ao setor da construção, como também, uma solução para tornar os edifícios europeus energeticamente mais eficientes.

1.2 Objetivos a atingir

Esta dissertação tem como principal foco a melhoria energética de uma habitação familiar de três andares situada em Gondomar. Como a habitação foi construída em 1980, as soluções construtivas adotadas levam a que esta esteja desatualizada em relação aos parâmetros energéticos atuais.

Para ser conseguida uma melhoria energética, propõem-se um conjunto de soluções solares passivas e ativas, onde estão incluídas mudanças nas soluções atuais construtivas, análises relativamente a possíveis soluções solares térmicas e fotovoltaicas, e ainda, o recurso a biomassa para climatização.

A dissertação, apesar de ter como principal objetivo a redução das necessidades energéticas atuais, tem também uma componente económica com intuito de perceber se as soluções propostas são, ou não economicamente viáveis.

Os principais objetivos da dissertação são:

- Análise dos regulamentos energéticos em Portugal
- Modulação da habitação atual para determinação das necessidades de aquecimento e arrefecimento
- Estudo do efeito da integração soluções solares passivas
- Estudo do efeito da integração de potenciais soluções solares ativas
- Efetuar uma estimativa económica (simplista) dos custos associados às soluções propostas

1.3 Estrutura da dissertação

O presente trabalho está dividido em 7 capítulos.

No Capítulo 1 são apresentados o enquadramento, os objetivos e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 é resumida a evolução legislativa acerca do tema e são explicados diversos conceitos presentes na dissertação.

O Capítulo 3 é dedicado à descrição da habitação. Esta descrição inclui as propriedades geométricas e construtivas da habitação, e ainda uma análise dos parâmetros que influenciam os modelos de simulação.

No Capítulo 4 é feita uma pequena descrição do processo de modelação, terminando com a descrição dos dois modelos usados para as simulações realizadas. O Modelo 1 representa o estado atual da habitação, o Modelo 2 é uma representação da habitação com soluções solares passivas e um conjunto de soluções solares ativas propostas.

O Capítulo 5 apresenta os resultados e comparações relativas às temperaturas e necessidades energéticas dos dois modelos. Neste capítulo são retiradas algumas conclusões acerca das soluções passivas propostas.

O Capítulo 6 começa com uma análise energética das soluções de base renovável. Numa fase posterior, é feita uma análise económica de modo a validar a viabilidade económica das soluções propostas. Por fim, depois das conclusões retiradas, é analisado o cenário mais realista sendo comparada a situação atual (Modelo 1) com as soluções propostas no Modelo 2.

Finalmente, no Capítulo 7 apresentam-se as conclusões finais e trabalhos futuros.

2. Legislação e Conceitos

Este capítulo começa com uma breve descrição da evolução legislativa em Portugal de forma a enquadrar os regulamentos utilizados ao longo desta dissertação. Posteriormente são explicados alguns dos conceitos importantes acerca destes regulamentos.

2.1 Evolução legislativa em Portugal

Antes de 1990 não existiam em Portugal quaisquer regulamentos que garantissem requisitos mínimos energéticos na construção de edifícios. A necessidade de um instrumento legal que regulamentasse as condições térmicas dos edifícios vinha há muito a ser sentida pelo país [7].

Como resposta a esta problemática, surge o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro, como o primeiro instrumento legal em Portugal que impôs requisitos térmicos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno quer no Verão [8].

Oito anos depois, em 1998 surge o Decreto-Lei 118/98, onde é revisto o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Este vem regulamentar as condições em que se definem as dimensões e se devem processar a instalação e a utilização de equipamentos e sistemas nos edifícios com sistemas energéticos de aquecimento e ou de arrefecimento, sem ou com desumidificação, por forma a assegurar a qualidade das respetivas prestações, com respeito pela utilização racional da energia, pelo ambiente e pela segurança das instalações [9].

A nível europeu, em 2002 o Parlamento Europeu aprovou a diretiva 2002/91/CE, com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica [10]. Esta diretiva definiu o estabelecimento geral de uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, no entanto, cada estado membro teve de fazer a transposição para a sua legislação.

Na sequência desta diretiva, a 4 de Abril de 2006 foram publicados 3 documentos que transpõem a diretiva europeia para a legislação portuguesa:

- Decreto-lei – nº78/2006, responsável pela criação do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE) [11].
- Decreto-lei – nº79/2006, responsável pela criação do Regulamento dos Sistemas de Energia e de Climatização de Edifícios (RSECE) [11].
- Decreto-lei – nº80/2006, responsável pela criação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [11].

Estes documentos estiveram em vigor desde 2006 até 2013, tendo sido alterados devido à revisão do documento Desempenho Energético dos Edifícios em 2010 (Diretiva 2010/31/CE). A nova diretiva europeia veio reformular a anterior, estabelecendo novos requisitos energéticos para edifícios de modo a melhorar a eficiência energética dos mesmos.

Como consequência, os requisitos térmicos definidos nos decretos-lei de 2006 foram novamente reformulados em 2013 com a publicação do Decreto-Lei 118/2013.

No que diz respeito ao RCCTE, este passou a ser substituído por um novo regulamento, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, chamado de REH [12].

Na Figura 5 está apresentada cronologicamente a evolução legislativa em Portugal e na europa.

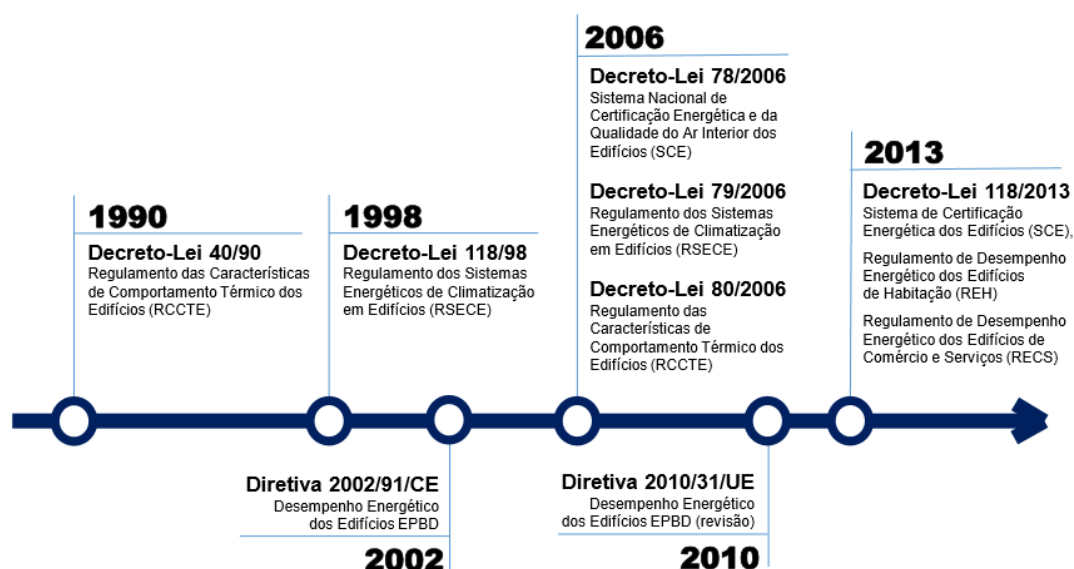


Figura 5: Evolução legislativa portuguesa [11].

2.2 RCCTE e REH

Baseado no RCCTE, o REH tem como principais alterações:

- Zoneamento e parâmetros climáticos
- Verificação regulamentar
- Requisitos de comportamento térmico
- Requisitos de qualidade térmica da envolvente
- Definição de limites (parâmetros e condições de referência para o cálculo de N_i e N_v)
- Cálculo de N_{ic} e N_{vc} (perdas através do solo, pontes térmicas lineares, ventilação)

Alguns destes parâmetros são utilizados ao longo desta dissertação, sendo explicados nos tópicos 2.3 a 2.6. Em certas ocasiões irão ser recorridos parâmetros e métodos de cálculo do RCCTE por apresentar folhas de cálculo mais simplificadas.

2.3 Zoneamento climático

Tanto no REH como no RCCTE, o processo de caracterização energética de um edifício começa pela definição do zoneamento climático. Nestes documentos, as diferentes zonas do país são divididas em 3 categorias tanto para a estação de Inverno (I1, I2, I3) como para a de Verão (V1, V2, V3).

No REH, as zonas climáticas do Inverno (estação de arrefecimento) são definidas a partir do número de graus-dias (*GD*) tendo como base uma temperatura de 18°C [12]. Na Tabela 1 estão apresentadas as zonas segundo o número de graus-dia.

Tabela 1: Critérios para determinação da zona climática de Inverno [12]

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

Em relação às zonas climáticas de Verão, estas são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{\text{ext,v}}$) conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Critérios para a determinação da zona climática de Verão [12]

Critério	$\theta_{\text{ext,v}} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{\text{ext,v}} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{\text{ext,v}} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

Na Figura 6 está apresentado o território nacional segundo as zonas climáticas apresentadas anteriormente.

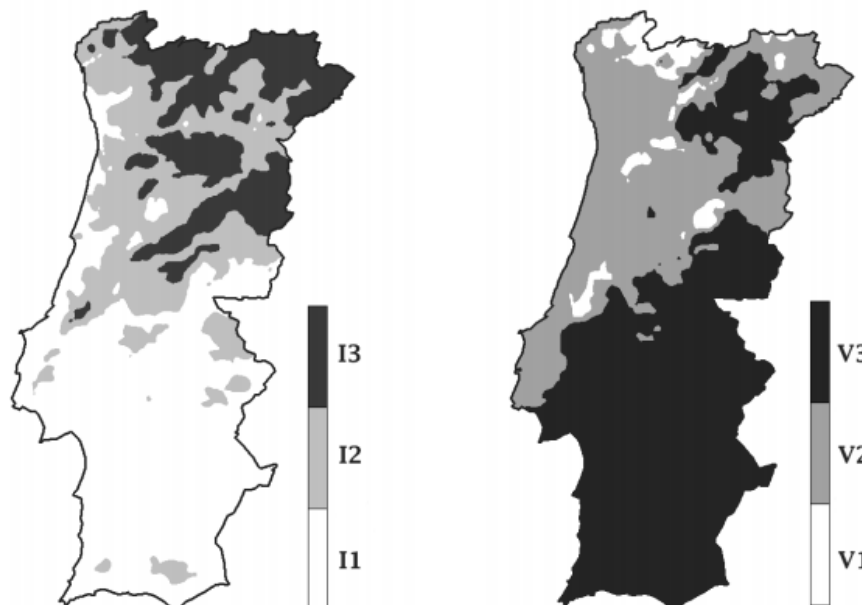


Figura 6: Zona climática de Inverno (esquerda) e de Verão (direita) no continente, segundo o REH [12].

Este zoneamento poderá sofrer alterações caso a altitude do local seja considerável, agravando o valor na estação de aquecimento, ou diminuindo na estação de arrefecimento.

Para conhecer o zoneamento e os parâmetros climáticos de um local específico, existe uma ferramenta disponível pelo LNEC (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) que utiliza como parâmetros de entrada a cidade e a altitude do local definidas pelo utilizador [13].

Comparando com a legislação anterior (RCCTE), este zoneamento apresenta algumas diferenças. Por exemplo, as zonas climáticas do Inverno são definidas a partir de uma base de 20°C em vez dos 18°C utilizados no REH.

O zoneamento climático segundo esta legislação, está representado na Figura 7.

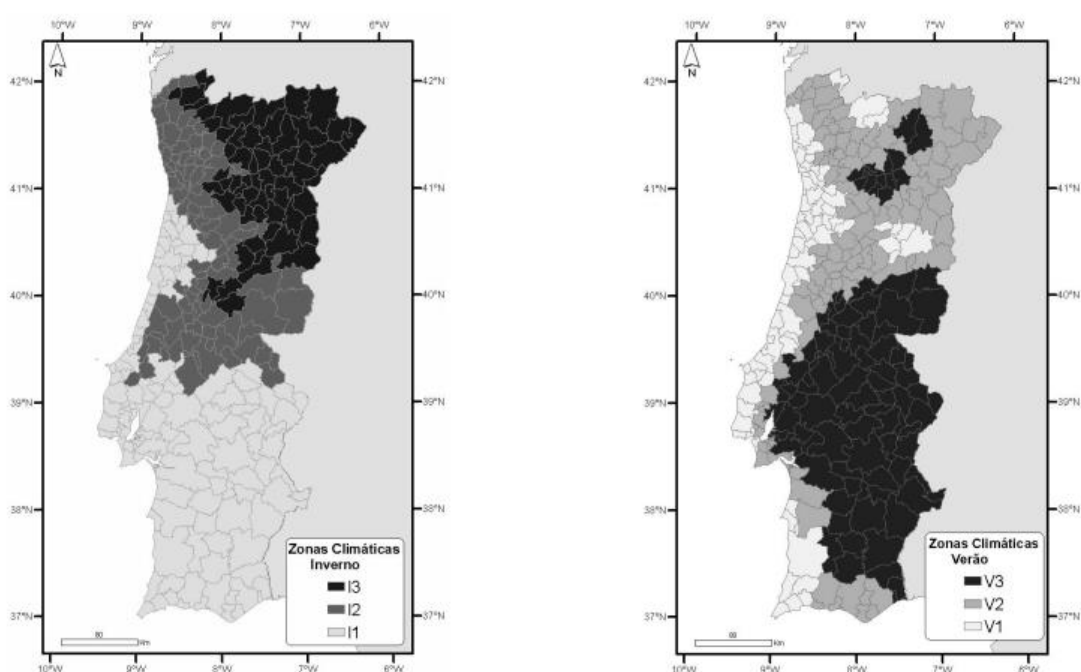


Figura 7: Zona climática de Inverno (esquerda) e de Verão (direita) no continente, segundo o RCCTE [8].

Utilizando o Grande Porto como exemplo, o zoneamento climático segundo o RCCTE coloca a cidade nas zonas I2 e V1, no entanto segundo o novo regulamento, este faz parte das zonas I1 e V2.

2.4 Coeficientes de referência e limite da envolvente opaca

Em ambos os documentos estão definidos valores de referência e valores máximos de coeficientes de transmissão térmica superficial para elementos da envolvente opaca.

Os valores do REH sofrem apenas algumas alterações em relação aos do RCCTE. Esta alteração implica um melhoramento das soluções construtivas nos novos edifícios, o que a longo prazo permitirá uma maior economia energética.

Na Tabela 3 estão representados os valores dos coeficientes de transmissão térmica de referência (U_{ref}) de elementos opacos exteriores e vãos envidraçados segundo o RCCTE e segundo a última versão do REH [14].

Tabela 3: Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência [8] [14]

Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência						
U_{ref} (W/m ² K)						
Elemento exterior em zona corrente	RCCTE			REH		
	I1	I2	I3	I1	I2	I3
Elementos opacos verticais	0,70	0,60	0,50	0,50	0,40	0,35
Elementos opacos horizontais	0,50	0,45	0,40	0,40	0,35	0,30
Vãos envidraçados (portas e janelas)	4,30	3,30	3,30	2,80	2,40	2,20

Na Tabela 4 estão representados os valores máximos admissíveis para os mesmos elementos

Tabela 4: Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos [8] [14]

Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos						
U_{max} (W/m ² K)						
Elemento exterior em zona corrente	RCCTE			REH		
	I1	I2	I3	I1	I2	I3
Elementos opacos verticais	1,80	1,60	1,45	1,75	1,60	1,45
Elementos opacos horizontais	1,25	1,00	0,90	1,25	1,00	0,90

Em relação aos requisitos de referência, estes poderão ser progressivamente atualizados até 2020, por forma a incorporar estudos referentes ao custo-benefício dos mesmos, bem como aos níveis definidos para os edifícios de necessidade de energia quase-nulas (N-ZNB) [14].

2.5 Ventilação Natural

“No caso de o único dispositivo de ventilação mecânica presente no edifício ou fração autónoma ser o exaustor na cozinha, dado que este só funciona, normalmente, durante períodos curtos, considera-se que o edifício é ventilado naturalmente” [8].

Sempre que o edifício esteja em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1, como no caso de edifícios com ventilação natural, o valor de renovações por hora (RPH) a adotar, será o valor indicado no projeto de ventilação requerido por essa norma [12].

Nesta norma é necessário caracterizar a exposição do edifício ao vento, para poder fazer uma estimativa relativa à permeabilidade ao ar das portas e das janelas exteriores. São necessários três parâmetros para esta quantificação:

- A zona do país caracterizada pela velocidade do vento
- a rugosidade aerodinâmica do terreno
- a cota da janela acima do solo

Face aos parâmetros mencionados anteriormente, o grau de exposição ao vento do edifício é definido através da Tabela 5.

Tabela 5: Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fração autónoma [8]

Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
Menor que 10 m	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.1	Exp.2	Exp.3
De 10 m a 18 m	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.2	Exp.3	Exp.4
De 18 m a 28 m	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp.2	Exp.3	Exp.4
Superior a 28 m	Exp.3	Exp.4	Exp.4	Exp.3	Exp.4	Exp.4

Notas:

Região A – todo o território nacional, exceto os locais pertencentes à região B

Região B – Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m.

Rugosidade I – edifícios situados no interior de uma zona urbana

Rugosidade II – edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural

Rugosidade III – edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento)

Depois de definida a classe de exposição, a taxa de renovações horárias pode ser estimada. Segundo a nova versão da regulamentação térmica, este valor pode ser obtido através da folha de cálculo disponibilizada pelo ITeCons (<http://www.itecons.uc.pt/p3e/>).

No caso da legislação anterior, o cálculo deste valor necessita apenas da consulta de uma tabela. Esta tabela está representada como a Tabela 6 e mostra os valores convencionais de RPH a adotar para edifícios de habitação.

Tabela 6: Valores convencionais de RPH para edifícios de habitação [8]

Classe de exposição	Dispositivos de admissão na fachada	Permeabilidade ao ar das caixilharias (de acordo com a norma EN 12307)							
		Sem Classificação		Classe 1- caixa de estore		Classe 2 – caixa de store		Classe 3 – caixa de estore	
		Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
1	Sim	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	0,75	0,65
	Não	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75
2	Sim	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70
	Não	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80
3	Sim	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75
	Não	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85
4	Sim	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80
	Não	1,15	1,05	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90

Os dois documentos também diferenciam no número de renovações mínimas. Enquanto que o RCCTE tem como referência o valor de 0,6 RPH para todo o ano, o REH é mais flexível e permite uma taxa de renovações do ar de 0,4 RPH durante a estação de aquecimento.

Esta redução durante a estação de aquecimento, permite a diminuição das necessidades energéticas de aquecimento e consequentemente, nas necessidades energéticas anuais.

2.6 Necessidades de aquecimento e arrefecimento

As necessidades de aquecimento e arrefecimento correspondem ao valor da energia necessária para manter o ar da fração/edifício dentro das condições de conforto (entre 20° C e 25°C) e estas podem ser calculadas, segundo a nova legislação, através da metodologia presente no despacho nº15793-I/2013 [12], ou podem ainda ser calculadas através de softwares de simulação. Nesta dissertação foi utilizado o software TRNSYS para o cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento.

Em relação aos limites estabelecidos por lei, o REH utiliza uma metodologia diferente do RCCTE. Na legislação atual, os valores limite são calculados utilizando as soluções construtivas de referência. Estas fórmulas podem ser consultadas na referência [12]. Este método é demorado sendo necessário a definição de vários parâmetros sobre as propriedades construtivas da habitação.

No método utilizado pelo RCCTE a obtenção dos valores limite é mais rápida necessitando-se apenas informações geométricas para categorizar o edifício. Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_i) apenas dependem do fator de forma da fração autónoma (FF) e do número de graus-dia (GD). Conhecendo o fator de forma, o edifício estará incluído numa das 4 categorias expressas nas seguintes expressões:

- a) Para $FF \leq 0,5$, $N_i = 4,5 + 0,0395 GD$
- b) Para $0,5 < FF \leq 1$, $N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD$
- c) Para $1 < FF \leq 1,5$, $N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)$
- d) Para $FF > 1,5$, $N_i = 4,05 + 0,06885 GD$

Quanto aos valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (N_v) de uma fração autónoma, estes dependem da zona climática do local, e podem ser definidos através das seguintes expressões:

- a) Zona V1 (norte), $N_v = 16 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;
- b) Zona V1 (sul), $N_v = 22 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;
- c) Zona V2 (norte), $N_v = 18 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;
- d) Zona V2 (sul), $N_v = 32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;
- e) Zona V3 (norte), $N_v = 26 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;
- f) Zona V3 (sul), $N_v = 32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;

2.7 N-ZEB

Nos termos do artigo 2º, n.º 2, da Diretiva 2010/31/UE, entende-se por “*edifício com necessidades quase nulas de energia, um edifício com um desempenho energético muito elevado, determinado nos termos do anexo I. As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades*” [15].

Deste modo, embora a Diretiva 2010/31/EU estabeleça o quadro para a definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia, a responsabilidade última pela aplicação dessa definição é responsabilidade de cada Estado-Membro.

Em Portugal, este conceito está definido no Artigo 16 do Decreto-Lei n.º 118/2013 como:

“São edifícios com necessidades quase nulas de energia os que tenham um elevado desempenho energético e em que a satisfação das necessidades de energia resulte em grande medida de energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades” [16].

Nestes edifícios devem estar incluídas formas de captação local de energias renováveis que cubram grande parte do remanescente das necessidades energéticas previstas, de acordo com os modelos do REH e do RECS.

A Figura 8 foi utilizada pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) para demonstrar o conceito de N-ZEB.

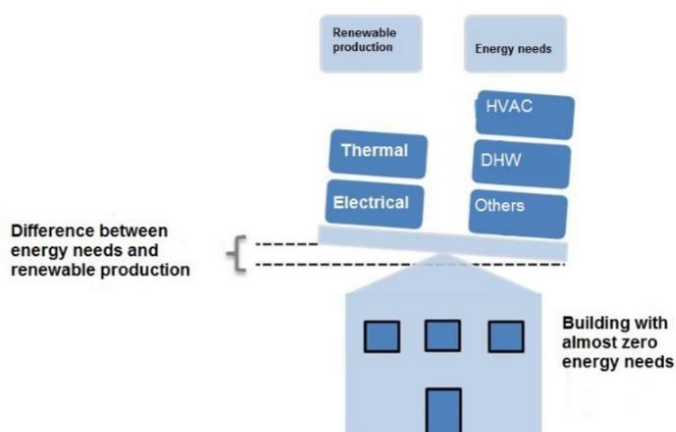


Figura 8: Possível definição de N-ZEB [17]

Apesar de existir uma definição na legislação portuguesa, não existe qualquer indicador numérico que classifique um edifício em estudo como sendo, ou não, um edifício com necessidades quase nulas [17][18].

2.8 Descrição do Trnsys e Meteonorm

Trnsys é uma ferramenta de software de simulação, com uma estrutura modular simplificada, desenvolvida para resolução de sistemas complexos relacionados com energia. Este reconhece o modelo em estudo através dos componentes modulares (*Types*) e a maneira como estão conectados.

A biblioteca padrão inclui aproximadamente 150 modelos que vão desde bombas de calor a edifícios *Multi-zone*, turbinas eólicas a *electrolyzers*, processadores de dados do tempo para rotinas de economia, e equipamentos básicos de HVAC. Os modelos são construídos de tal forma que os usuários podem modificar os componentes existentes ou escrever seus próprios.

A natureza modular do TRNSYS dá ao programa uma tremenda flexibilidade e facilita a adição de modelos matemáticos não incluídos na biblioteca TRNSYS padrão [19].

No TRNSYS 17, foi introduzida uma nova ferramenta para facilitar o processo de criação de *Multi-zone Building*. Esta nova ferramenta, TRN3D, permite ao utilizador criar a geometria de um edifício no GoogleSketchup e posteriormente importar as informações para o TRNSYS.

Em conjunto com o TRNSYS, foi utilizada a base de dados meteorológicos Meteonorm. A Meteonorm possui informações relativas a 8325 estações meteorológicas mundiais, incluindo no seu catálogo dados relativos a temperatura, humidade, velocidade do vento e precipitação desde 1961, e informações relativas a radiação solar desde 1981 [20].

3. Descrição da habitação

Este capítulo contém a descrição dos elementos mais importantes para a análise dos modelos. Estes elementos foram utilizados como parâmetros de entrada na simulação no software TRNSYS 17.

3.1 Descrição geral

O modelo em estudo é uma habitação unifamiliar, construída nos anos 80, com dois pisos e um sótão, localizada em Rio Tinto, Gondomar. Tanto o primeiro como o segundo piso têm uma área de 106 m² e o sótão, uma área de 113 m², perfazendo uma área total de 325 m². A orientação da habitação é 43° Sudoeste sendo que a fachada a sul, mostrada na Figura 11, inclui uma elevada área de envidraçado.



Figura 9: Fachada Norte e Oeste



Figura 10: Fachada Este



Figura 11: Fachada Sul



Figura 12: Fachada Oeste

Como se trata de uma habitação antiga (cerca de 37 anos), as soluções construtivas levam a que os habitantes experienciem elevados níveis de desconforto tanto no inverno como no verão. Apesar da casa estar equipada com uma lareira, como todas as janelas são de correr, existe uma elevada taxa de infiltrações que leva a perdas de calor substanciais durante o inverno.

Para a análise energética desta habitação, foi criado um modelo 3D no software GoogleSketchup 8, que foi posteriormente importado e completado no software TRNSYS17. Ao contrário da abordagem tradicional, que consiste na introdução manual de todos os elementos no software TRNSYS, a abordagem 3D facilita a construção de modelos com geometrias complexas.

3.2 Clima local

A habitação situa-se a 100 m acima do nível médio das águas do mar, 13 km da costa, e tem uma latitude e longitude de 41.2°N e 8.5°W, respetivamente. As condições climáticas deste local (Gondomar), podem ser aproximadas pelas condições do distrito a que pertence, o distrito do Porto, o qual é caracterizado por um clima marítimo temperado. As temperaturas típicas mensais e a radiação global do distrito, estão representadas na Figura 13.

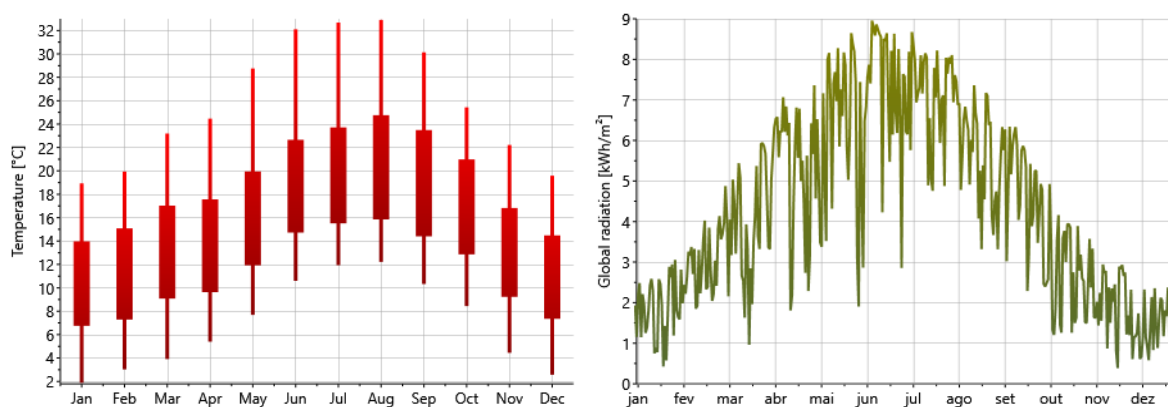


Figura 13: Variação anual da temperatura exterior (à direita) e radiação global (à esquerda)

Esta aproximação ao clima da cidade do Porto, facilita o input dos dados meteorológicos no software TRNSYS, visto estes se encontrarem disponíveis na biblioteca METEONORM.

3.3 Propriedades térmicas das soluções construtivas atuais

Como os materiais utilizados na construção não se encontram descritos nos desenhos nem nos documentos disponíveis, foi necessário recorrer à memória descritiva de alguém que esteve presente durante a construção. Através da descrição e de estudos de habitações com construções semelhantes, foi possível chegar a uma aproximação da construção real. As propriedades dos materiais utilizados na descrição de cada elemento, foram obtidas através da biblioteca presente no TRNSYS, ou segundo o documento ITE 50 [21].

3.3.1 Paredes da envolvente exterior

Segundo a descrição original, a casa possui paredes duplas, tendo por base, blocos de construção em betão. Apesar de não serem conhecidas todas as informações sobre as paredes, através da espessura total, e, tendo em conta as características de construções semelhantes, foi assumido, que a parede exterior é composta por blocos de betão com 11 cm de espessura e, a

parede interior por blocos com 15 cm [21]. Os valores de condutividade e de resistência térmica dos elementos constituintes das paredes, estão representados na Tabela 7.

Tabela 7: Características dos elementos construtivos das paredes exteriores

Elementos construtivos	Espessura (mm)	Condutividade (W/mK)	Resistência (m ² K/W)	U-Value (W/m ² K)
Interior			0,13	
Reboco tradicional	15	1,30	0,01	
Bloco de betão	150	1,25	0,12	
Caixa de ar	20		0,17	
Bloco de betão	110	1,25	0,09	1,728
Reboco	15	1,30	0,01	
Azulejo	5	0,60	0,01	
Exterior			0,04	

3.3.2 Janelas

As janelas existentes são janelas simples sem qualquer tipo de isolamento. Por não serem conhecidas informações sobre os vidros utilizados, foi assumido que todos os vidros são vidros simples (*single type*) com valores de $U=5,68$ W/m²K e $g=0,86$ [22]. Na Tabela 8 estão definidas as áreas de fachada por piso, áreas de envidraçado por piso e fachada, e a correspondente percentagem de envidraçado por fachada.

Tabela 8: Áreas e percentagem de envidraçados por fachada e por piso

Piso	Fachada	Área fachada (m ²)	Área envidraçado (m ²)	% envidraçado
Piso 1	Norte	26,88	1,38	5,13
	Este	43,20	2,08	4,81
	Sul	26,88	2,66	9,90
	Oeste	43,20	2,33	5,39
Piso 2	Norte	26,88	3,90	14,51
	Este	43,20	2,83	6,55
	Sul	26,88	4,58	17,04
	Oeste	43,20	4,06	9,40
Sótão	Norte	10,80	0,31	2,85
	Este	65,30	0,83	1,27

3.3.3 Pavimentos

Chão

Relativamente às fundações da casa, pouca informação é conhecida acerca da profundidade das fundações e propriedades dos materiais utilizados.

De modo a contornar este problema, numa primeira abordagem foi seguido o REH [12]. Segundo este regulamento, para pavimentos em contacto com o terreno, o valor do coeficiente de transmissão térmica superficial U ($\text{W/m}^2\text{K}$), determina-se com base nos seguintes parâmetros:

- a) Dimensão característica do pavimento B'
- b) Resistência térmica de todas as camadas do pavimento R_f , com exclusão de resistências térmicas superficiais
- c) Largura ou profundidade do isolamento D , respetivamente, no caso do isolamento perimetral horizontal ou vertical

A dimensão característica do terreno, é calculada segundo a Equação 1.

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \cdot P} \quad (1)$$

Onde A_p corresponde à área interior útil de pavimento, medida pelo interior, P o perímetro exposto, caracterizado pelo desenvolvimento total de parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior [12].

No entanto, para pavimentos sem isolamento, a diretiva especifica que o coeficiente de transmissão térmica deve ser calculado tendo em conta a resistência térmica de todas as camadas do pavimento R_f . Como já foi mencionado, as características do pavimento não são conhecidas, logo cálculo da transmissão térmica do mesmo não é possível.

Como segunda abordagem, foi utilizada a norma espanhola [23]. Neste documento, para pavimentos assentes ao nível do terreno ou no máximo 0,50 m abaixo deste, o valor de transmissão térmica, corresponde a $U = 0,91 \text{ W/m}^2\text{K}$.

A introdução deste valor no TRNSYS resultou em simulações com resultados aparentemente falaciosos, nomeadamente no que diz respeito às temperaturas entre pisos. Durante a época mais quente, a simulação mostrava diferenças de temperatura na ordem dos 6°C entre o primeiro e o segundo piso, algo que não corresponde à realidade.

Para evitar este tipo de resultados, foram realizadas várias simulações, diminuindo-se o coeficiente de transmissão térmica até serem obtidos perfis de temperaturas interiores realistas. Este processo iterativo terminou com a definição de $U=0,624 \text{ W/m}^2\text{K}$. Para além deste parâmetro, considerou-se uma temperatura de solo constante ao longo do ano $T=15^\circ\text{C}$.

Entre pisos

Em relação aos pavimentos entre pisos, as lajes do pavimento incluem blocos cerâmicos com aproximadamente 15 cm de altura, posteriormente recobertos com uma camada de cimento. Em quase toda a casa, os pavimentos estão revestidos a madeira. Na Tabela 9 estão descritas as propriedades térmicas dos elementos construtivos utilizados.

Tabela 9: Características dos elementos construtivos dos pavimentos entre pisos

Elemento construtivo	Espessura (mm)	Condução (W/mK)	Resistência (m ² K/W)	U-Value (W/m ² K)
Interior			0,10	
Reboco Tradicional	15	1,30	0,01	2,32
Laje	150	-	0,13	
Reboco Tradicional	15	1,30	0,01	
Madeira	15	0,14	0,11	
Interior			0,10	

3.3.4 Cobertura

A cobertura é o único elemento da habitação com isolamento instalado. A solução construtiva adotada tem por base uma laje aligeirada, onde assenta uma estrutura de madeira. O isolamento, segundo a descrição, é composto por placas de poliestireno dispostas ao longo do telhado. Tal como nas paredes, como não foi possível obter as características dos elementos, as propriedades e dimensões dos mesmos, irão ser aproximadas pelos materiais disponíveis na biblioteca do TRNSYS e pelas descrições no documento ITE 50.

Na Tabela 10 estão descritas as propriedades térmicas dos elementos construtivos utilizados na cobertura.

Tabela 10: Características dos elementos construtivos da cobertura

Elemento construtivo	Espessura (mm)	Condução (W/mK)	Resistência (m ² K/W)	U-Value (W/m ² K)
Interior			0,17	
Reboco Tradicional	15	1,30	0,01	0,895
Laje	150	2	0,08	
Isolamento térmico	30	0,04	0,75	
Camada de cimento	15	1,30	0,01	
Telha	15	0,84	0,02	
Exterior			0,04	

3.4 Ganhos Internos

Os ganhos internos estão relacionados com o número de ocupantes, o tipo de atividade dos mesmos e as dissipações caloríficas dos diferentes equipamentos.

Em relação aos ocupantes, foi estudado o horário de ocupação, mostrado na Tabela 11, e assumindo-se que a atividade metabólica dos mesmos corresponde a “*seated, very light writing*” segundo a norma ISO 7730 [24]. De acordo com esta norma, para esta atividade metabólica é produzido calor sensível de 65 W e latente de 55 W.

Tabela 11: Horários de ocupação

	Manhã	Nº	Tarde	Nº	Noite	Nº
Segunda-Sexta	08:00-12:00	3	12:00-20:00	0	20:00-08:00	4
Sábado	10:00-12:00	3	12:00-23:00	2	23:00-10:00	4
Domingo	10:00-12:00	4	12:00-20:00	3	20:00-08:00	4

No que diz respeito à iluminação, foi considerado um ganho térmico de 5 W/m² para uma área de 50 m² no segundo piso. De modo a simplificar a simulação, foi definido um horário para a iluminação das 18 às 24 horas.

3.5 Sombreadores

Na habitação estão presentes dispositivos de sombreamento como portadas ou persianas em quase todas as janelas. Diariamente, estes dispositivos são abertos e fechados tendo em conta a presença dos ocupantes, ou a altura do ano considerada. Para estudar o efeito destes dispositivos, foi definido um horário, simplificado, de abertura e fecho de portadas durante a estação de arrefecimento. Esse horário define a abertura destes dispositivos das 8:00 às 12:00 e ainda das 16:00 às 20:00.

3.6 Taxa de renovações de ar

Este parâmetro tem uma elevada influência nas necessidades energéticas da casa, sendo que uma incorreta caracterização pode levar a falsas conclusões. Para conhecer este valor, seria necessário realizar o teste da porta ventiladora na habitação. Como tal não é possível, e para simplificar a determinação do valor, este foi estimado utilizando as taxas estimadas pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [8]. De acordo com este regulamento, para uma habitação nas periferias de uma zona urbana (classe de exposição II, a taxa de renovação média do ar estará compreendida entre 1,05 e 0,95.

Nos modelos em estudo, foram consideradas taxas de renovação de 1, 0,8 e 0,6, sendo este último, o valor de referência segundo a norma NP 1037-1 [8].

3.7 Temperaturas operativas

A norma americana ASHRAE define conforto térmico como “a condição da mente que expressa satisfação com ambiente” [25]. Baseado nesta definição torna-se complicado de definir se um indivíduo se encontra confortável, pois esta avaliação, é uma avaliação subjetiva.

No entanto, existem normas que tentam quantificar este parâmetro, nomeadamente a norma ISO 7730 e a norma ASHRAE 55.

Em ambas as normas, para classificar o conforto térmico dos indivíduos na habitação, é necessário conhecer a atividade metabólica e ainda a resistência térmica do vestuário dos ocupantes.

Na simulação realizada consideraram-se dois períodos de simulação. O primeiro inclui os meses de Novembro a Abril (estação de aquecimento) e o segundo os meses de Maio a Outubro (estação de arrefecimento). Como foi mencionado no tópico 3.4, a atividade metabólica dos ocupantes é igual ao longo do ano e é assumida como “*seated, very light writing*” que corresponde a 1,2 met [24].

A resistência térmica da roupa, varia consoante a estação considerada. Durante a estação de aquecimento, os ocupantes usam vestuário de resistência térmica de 1 clo, e na estação de arrefecimento usam roupas com 0,5 clo de resistência térmica [24].

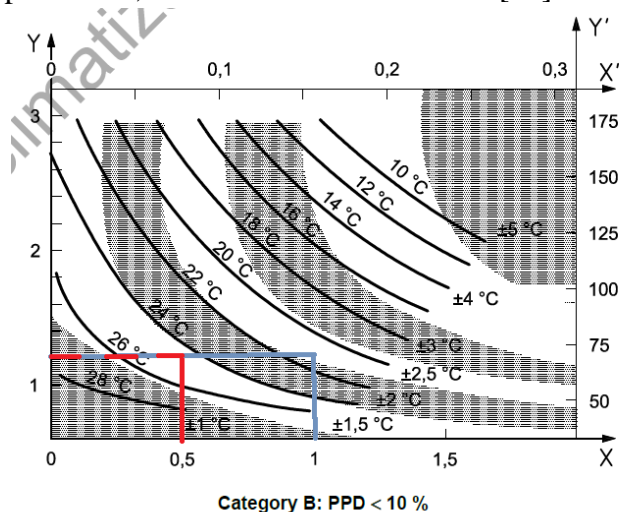


Figura 14: Cálculo temperatura operativa [24]

Pela análise da Figura 14, e tendo em conta os parâmetros mencionados anteriormente, para um espaço com 50% de humidade, a temperatura operativa de conforto estará compreendida entre $21 \pm 2,5$ °C e $25 \pm 1,5$ °C.

Contudo, o TRNSYS apenas permite um controlo termostático a partir das temperaturas interiores e não de temperaturas operativas. Tendo em conta esta limitação, irão ser escolhidas temperaturas de conforto entre 20 °C e 25°C, concordantes com as especificações da diretiva portuguesa [8].

4. Modelos de Simulação

Para obtenção dos resultados, foram utilizados vários modelos, de crescente complexidade, de modo a facilitar as simulações. Este capítulo providencia uma breve descrição do processo de modelação e termina com a descrição dos modelos de simulação utilizados.

4.1 Descrição do processo de modelação

O programa SketchUp da Google é uma ferramenta frequentemente utilizada para criação de modelos 3D de edifícios. A sua ligação com o software TRNSYS é facilitada por um plugin, Trnsys3d, disponibilizado pela empresa Transsolar (<http://www.transsolar.com/>). Este plugin utiliza o modelo 3D criado e guarda as informações sobre as suas dimensões num ficheiro .idf (*Identification File*), que posteriormente pode ser importado para o TRNSYS. A vantagem da utilização do SketchUp é a possibilidade de detalhar geometrias complicadas, algo que se torna complicado quando apenas se trabalha com modelações manuais, como acontece quando apenas é utilizado o TRNSYS.

Antes de começar a modelar o edifício, é necessário ter em conta as zonas termais que vão ser estudadas. No modelo em estudo vão ser consideradas 3 zonas, uma para cada piso da habitação.

A criação de cada zona termal é feita utilizando o criador de zonas do plugin Trnsys3D. As zonas do Trnsys3D são diferentes das zonas do SketchUp porque permitem simular um fluxo dinâmico de energia. Para isso, estas têm de ser convexas (Figura 15), ou seja, as superfícies de contacto entre zonas, por exemplo teto de uma zona e chão da zona adjacente, têm de ter as mesmas dimensões sem espaços intersticiais.

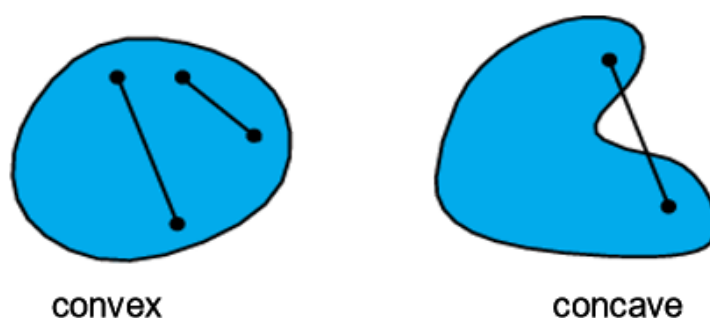


Figura 15: Ilustração do funcionamento das zonas termais

Criação da zona termal

Depois de abrir o GoogleSketchup, o primeiro passo a realizar é a criação de uma nova zona termal (Trnsys3D). Esta opção pode ser acedida através do menu *Plugins>Trnsys3d>New Zone Tool*. Um ponteiro azul irá aparecer, indicando que está seleccionada a opção de nova criação de zona termal. A partir daí deve-se seleccionar o sitio onde é desejada a criação da nova zona. Por definição coloca-se o ponteiro na origem dos eixos pois facilita a selecção da zona termal.

Uma caixa com contornos azuis deverá aparecer como representação da zona termal, no entanto esta não se encontra ativa. Para a ativar é necessário um duplo clique no ponto de origem. A Figura 16 mostra a diferença entre uma zona não ativa (à esquerda) e uma zona activa (à direita).

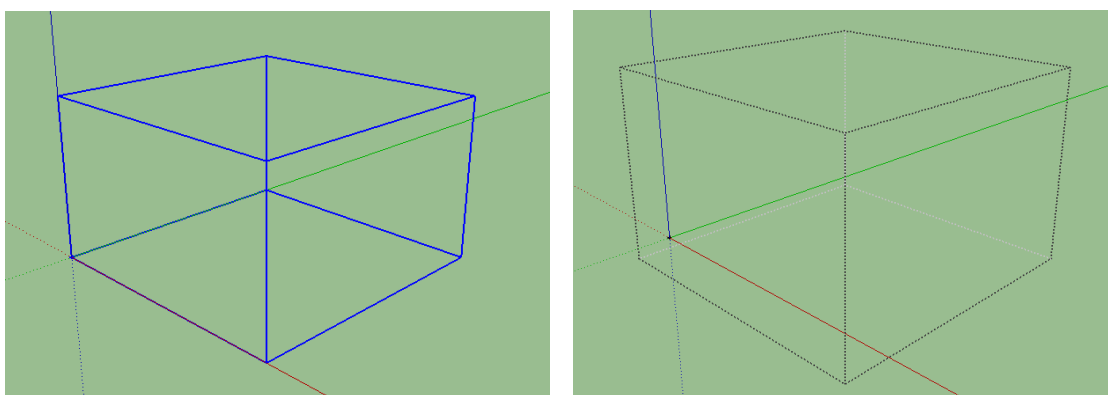


Figura 16: Zona termal não ativa e zona termal ativa

Ativada a zona pode ser iniciado o processo de criação da geometria da habitação.

Criação da geometria

A criação da habitação começa com o desenho do primeiro piso. É importante referir que a modulação deste edifício foi feita tendo por base os desenhos apresentados no Anexo A, e recorrendo a medições auxiliares. O resultado final da modelação do primeiro piso está apresentado na Figura 17. Nesta representação estão também incluídas as janelas.

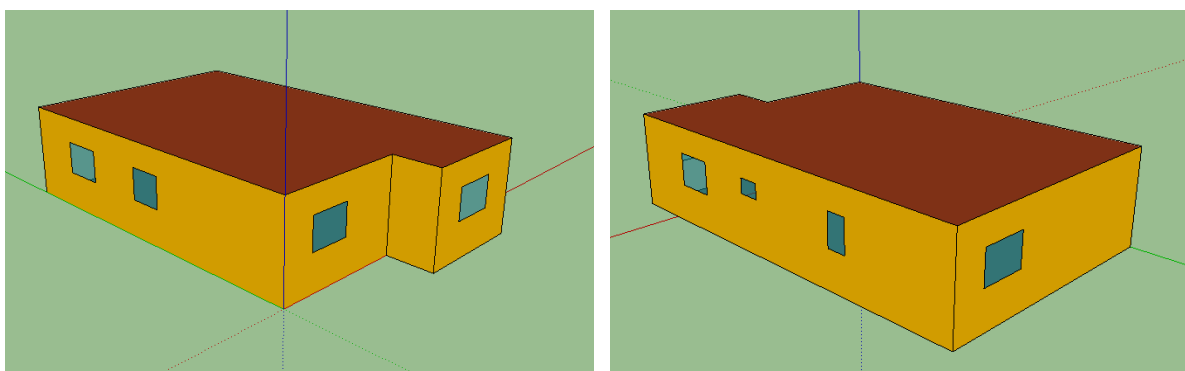


Figura 17: Fachada Sul e Oeste (à esquerda) e fachada Norte e Este (à direita)

O segundo piso é criado duma maneira semelhante ao primeiro, sendo necessário a criação de uma nova zona termal onde posteriormente é desenhada a sua geometria.

Como cada piso é uma zona independente, depois de criada a geometria, é necessário definir o teto/chão como uma superfície adjacente, ou seja, um local onde existe fluxo dinâmico de energia. Isto pode ser feito manualmente acedendo a *Plugins>Trnsys3d>Object Info*, ou pode ser realizado automaticamente com a opção *Surface Matching*. A Figura 18 mostra o desenho do segundo piso e a indicação da superfície adjacente entre o primeiro e o segundo piso.

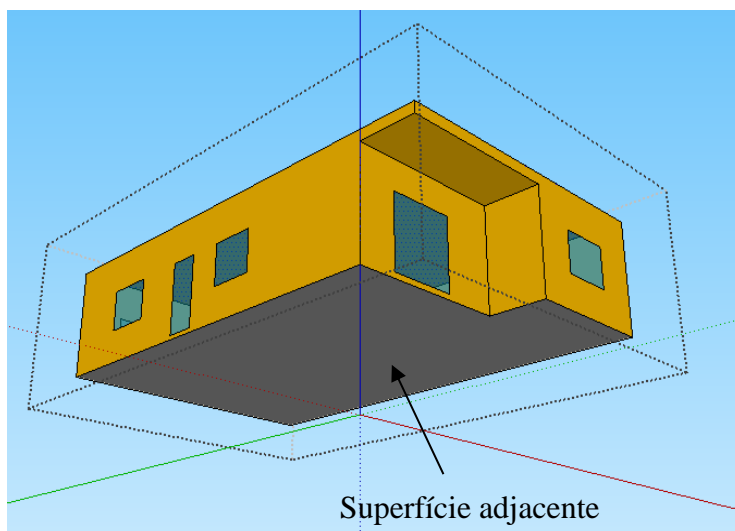


Figura 18: Representação 3D do segundo Piso

Sombreamento

O plugin Trnsys3d também permite a criação de objetos ou mesmo edifícios representativos de zonas de sombreamento. Esta opção ajuda a aproximar os modelos desenhados à situação real. Por exemplo, na habitação em estudo existe um lance de escadas na fachada oeste que cria um efeito de sombreamento sobre uma das janelas durante quase todo o dia (Figura 19). Para a criação destes objetos é necessário a criação de uma zona de sombreamento, acedida em a *Plugins>Trnsys3d>New shading group tool*.

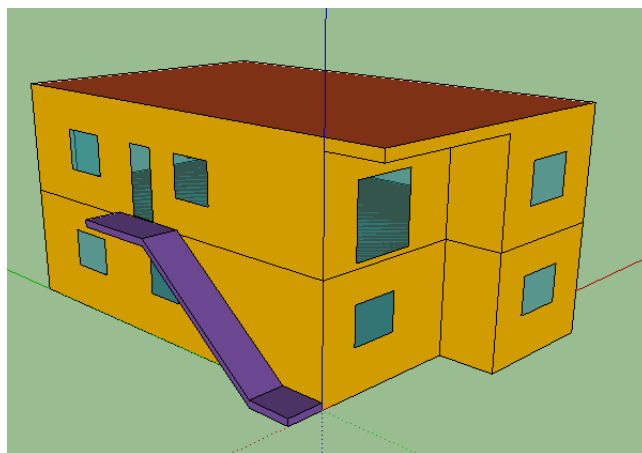


Figura 19: Objeto de sombreamento (a roxo)

Resultado final

Criado o primeiro e o segundo piso, foi ainda adicionada mais uma zona termal correspondente ao sótão. Também foram adicionados outros elementos que têm influência no sombreamento, como por exemplo a varanda na fachada sul ou a varanda na fachada norte. A Figura 20 mostra a representação final do modelo 3D.

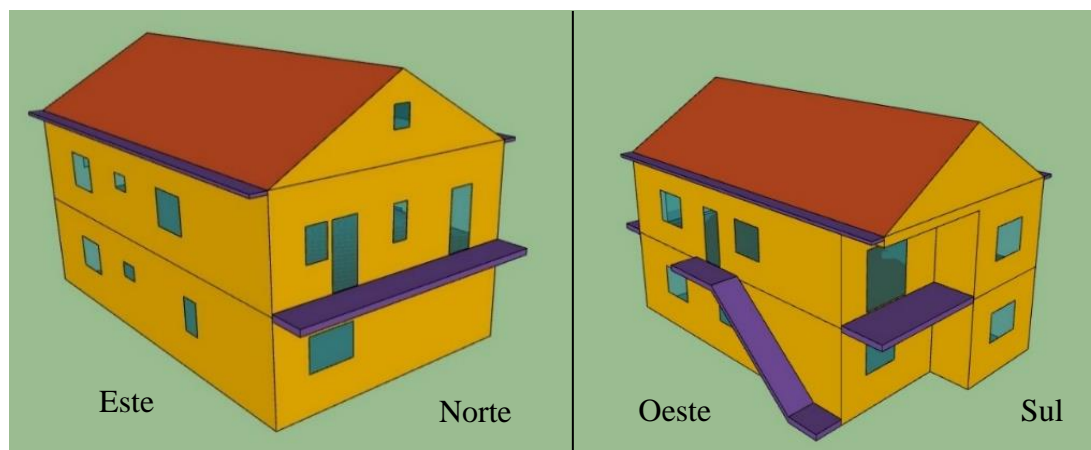


Figura 20: Fachadas Norte e Este (à direita) e fachadas Sul e Oeste (à direita)

Importação do modelo 3D no Trnsys

A importação do modelo 3D é facilitada utilizando o *3D-Building Wizard* disponível no *Simulation Studio*. Este *wizard* utiliza o ficheiro .idf para importar as dimensões do modelo, pedindo ainda ao utilizador para definir os dados climatéricos da região. Para além disso, o utilizador deve também definir a orientação do edifício para que o *software* defina corretamente as matrizes solares e de sombreamento. Os passos mencionados estão apresentados na Figura 21.

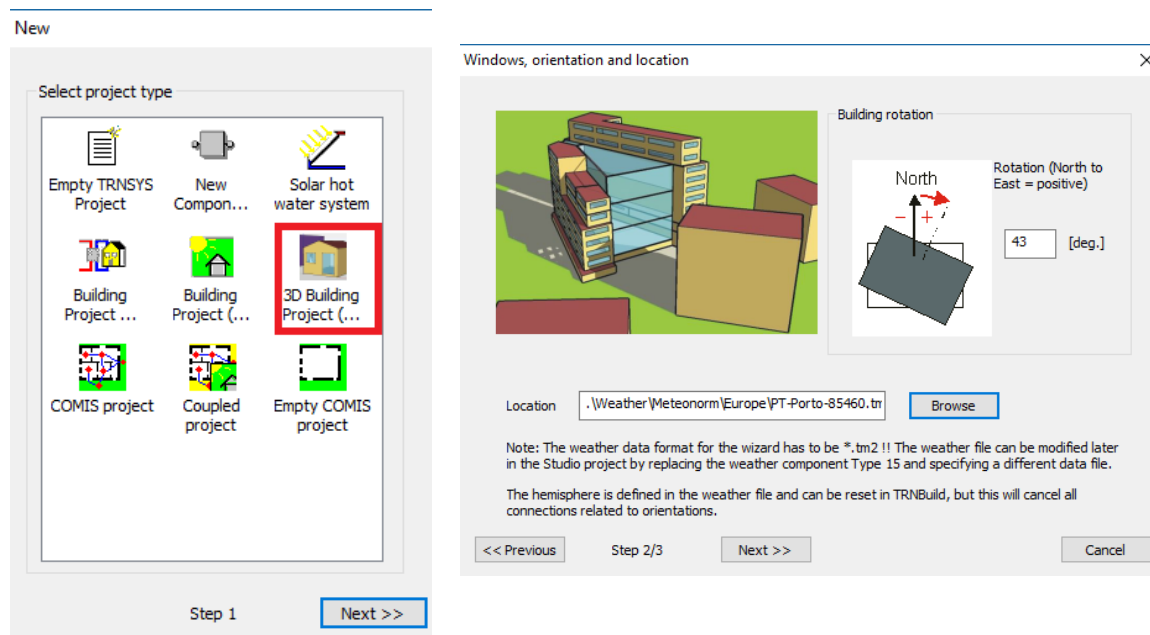


Figura 21: Parâmetros entrada do *3D-Building Wizard*

Existe ainda um terceiro passo, onde é perguntado ao utilizador se deseja algum tipo de controlo através de dispositivos de sombreamento. Este parâmetro irá ser definido mais à frente.

Quando as informações do edifício são importadas, o TRNSYS cria um sistema *standart* onde diferentes *Types* são combinados com o edifício. Este sistema *standart* pode ser visualizado na Figura 22.

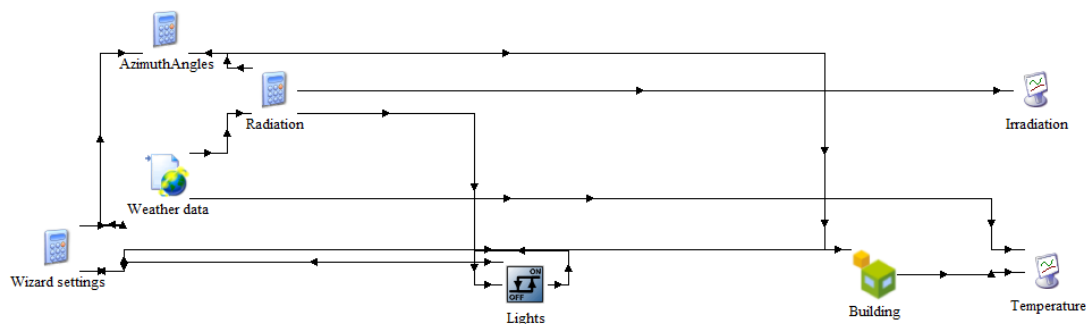


Figura 22: Interface gráfica do sistema *Standart*

Modificações nos elementos construtivos

Como é mencionado no tópico 3.3 da dissertação, todas os elementos construtivos foram aproximados por materiais disponíveis na livreria do TRNSYS e do documento ITE 50.

Para modificar o edifício é necessário aceder ao menu TRNBuild de modo a alterar os materiais de construção, ajustar janelas e outros elementos construtivos.

As envolturas do edifício foram divididas em 4 categorias:

- Parede Exterior: $U = 1,728 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Cobertura: $U = 0,895 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Chão: $U = 0,624 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Pavimento entre pisos: $U = 2,324 \text{ W/m}^2\text{K}$

Estes elementos foram todos definidos através do menu *Wall Type Manager*.

Cada parede é definida por materiais construtivos começando do interior (*front/inside*) para o exterior (*back*). Materiais novos podem ser adicionados, mas preferencialmente deve ser utilizada a livreria existente no TRNSYS. No final da criação da parede, o *software* indica a espessura e um valor de referência da transmissão térmica superficial da parede, *U-Value* ($\text{W/m}^2\text{K}$).

Na parte de baixo do menu têm de ser definidos parâmetros importantes para a correta caracterização do elemento simulado. Estes parâmetros incluem a absorvidade solar, *long wave emission coefficients* e coeficientes convectivos de transferência de calor. Os valores de absorvidade solar podem ser consultados no Volume 5, secção 5.2.4.2.2., do manual do

TRNSYS, e os coeficientes convectivos de transferência de calor são tipicamente definidos como $11 \text{ kJ/hm}^2\text{K}$ para superfícies em contacto com o interior e $64 \text{ kJ/hm}^2\text{K}$ para superfícies em contacto com o exterior. Os valores de *long wave emission coefficients* foram deixados como *default*.

A Figura 23 mostra um exemplo do *Wizard* das paredes, onde estão incluídos os valores para as diferentes propriedades apresentadas anteriormente.

No.	Layer	Thickness	Type
1	REBOCO_TRADICI...	0.015	massive
2	BLOCO_BETAO	0.110	massive
3	AIR		massless
4	BLOCO_BETAO	0.150	massive
5	REBOCO_TRADICI...	0.015	massive
6	LADRILHO	0.005	massive

Figura 23: *Wall type manager* (parede exterior)

Em alguns elementos é ainda necessário explicitar quais são as condições fronteira. Por exemplo, na definição do pavimento que está em contacto com o terreno, foi necessário definir uma temperatura do solo constante ao longo do ano (Figura 24).

Figura 24: Definição das condições fronteira (chão)

Janelas

À semelhança das paredes, existe também uma biblioteca no Trnsys de janelas com propriedades já definidas (Figura 25).

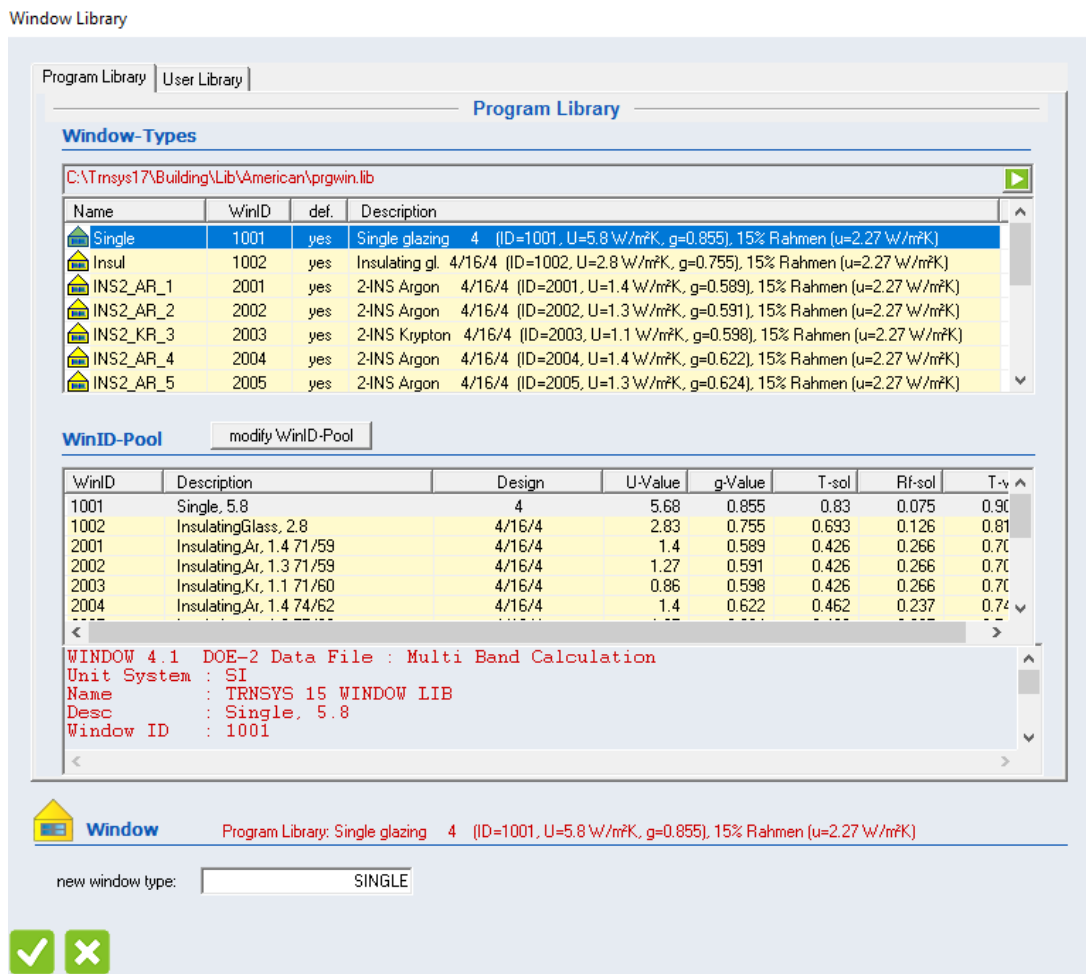


Figura 25: Window library

Para o modelo em estudo foram escolhidas janelas do tipo “single” com as seguintes propriedades:

- U -value: 5,68 W/m²K
- g : 0,855
- Caixilharia em alumínio

Existe ainda uma opção que permite a integração de dispositivos de sombreamento. Como a habitação atual possui portadas, em algumas simulações foi considerada a sua existência, e ainda um horário de abertura e fecho das mesmas. Para definir a abertura e fecho das portadas, no menu TRNBuild existe uma opção para incorporar sombreadores internos e/ou externos. A Figura 26 mostra a opção para seleccionar dispositivos externos.

The screenshot shows a 'Windows' dialog box with a table of window properties and configuration options for shading control.

Surf	Type	Area	Category	u-Value	g-Value
25	SINGLE	1.40	EXTERNAL	5.68	0.855
26	SINGLE	0.35	EXTERNAL	5.68	0.855
42	SINGLE	0.70	EXTERNAL	5.68	0.855

Below the table, there are configuration options for a window:

- window type: SINGLE (dropdown menu)
- area: 1.404 m² (text input)
- category: EXTERNAL (dropdown menu)
- geosurf: 0 (text input, with a dropdown menu showing 25)
- gain: 0 (text input, with a dropdown menu showing kJ/h)
- orientation: E_270_90 (text input, with a dropdown menu showing H_0_0)
- view fac. to sky: 0.5 (text input)

At the bottom, there are shading control options:

- ☐ internal shad. factor: 0 (text input)
- Shading control:
 - ☐ integrated radiation control acc. to window type
 - ☒ external control (included in shading factor)
- ☒ external shad. factor: S: 1*BLINDS_CLOSED (text input)
- Shading control:
 - ☐ integrated radiation control acc. to window type
 - ☒ external control (included in shading factor)

Figura 26: Exemplo de controlo de sombreamentos externos

É necessário que o utilizador tenha atenção na definição da abertura e fecho. Segundo o TRNSYS, o fator de sombreamento é definido como o rácio entre a área não transparente e a área total da janela, o que significa que quando este fator é igual a 1, não existe transmissão de radiação.

Horários

Nas simulações realizadas, foram definidos vários horários com o objetivo de aproximar os modelos à situação real. A título de exemplo, mostram-se nas Figuras 27 e 28 o horário ocupacional durante a semana e o horário das iluminações. Chama-se à atenção aos valores definidos no horário de iluminação. O *software* assume que o valor de 1 corresponde às lâmpadas estarem ligadas e 0 quando estão desligadas.

Schedule Type Manager

schedule type: **WORKDAY**

daily weekly

Daily

From	Until	Value
00:00	08:00	4.00
08:00	12:00	3.00
12:00	19:00	0.00
19:00	24:00	4.00

+ -

from until value

h: 0 8 4

min: 0 0

Figura 27: Horário ocupacional

Schedule Type Manager

schedule type: **LIGHTS**

daily weekly

Daily

From	Until	Value
00:00	18:00	0.00
18:00	24:00	1.00

+ -

from until value

h: 0 18 0

min: 0 0

Figura 28: Horário iluminação

Ganhos internos

Estabelecidos os horários necessários para as simulações, os ganhos internos de cada zona podem ser definidos. Para facilitar a sua introdução no *software*, o TRNSYS vem incluído uma biblioteca exclusiva para a definição destes ganhos térmicos. A biblioteca *standart* oferece 3 opções de ganhos internos: ganhos relativos à atividade dos habitantes, ganhos associados a computadores existentes e ainda ganhos relativos à iluminação. A Figura 29 mostra os ganhos considerados no segundo piso.

Gains [AirNode: SECOND_FLOOR]

Persons

off on ☒ ISO 7730 ☐ VDI 2078 Seated, very light writing degree of activity

scale: 5: 1*SEMANA geo position: 0

Computer

off on ☒ 140 W/ PC with monitor computer type

scale: 5: 1*LIGHTS geo position: 0

Artificial Lighting

off related floor area: 50 m²

on total heat gain: 5 W/m² 5: 1*LIGHTS control strategy

convective part: 20 % 1 scale geo position: 0

Other Gains

Type	Scale	Geo Position

+ -

✓ ✗

Figura 29: Ganhos internos do segundo piso

Existe ainda a possibilidade de o utilizador definir ganhos térmicos relativos a outros equipamentos. Para isso o utilizador pode utilizar os dados disponíveis de literatura (como por exemplo: *ASHRAE mechanical pocket guide*) ou pode adquirir uma livreria externa através do site da Transsolar.

Aquecimento e arrefecimento

O aquecimento e arrefecimento de cada zona termal pode ser idealizado e simulado com *types* específicos. Tanto no aquecimento como no arrefecimento o controlo pode ser determinado definindo temperaturas de controlo, humidade e potência de equipamentos. No caso em estudo foram apenas definidas temperaturas de controlo (acima de 20°C para a estação de aquecimento e inferior a 25°C para a estação de arrefecimento) para o cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento. A Figura 30 mostra este controlo durante a estação de aquecimento (à esquerda) e durante a estação de arrefecimento (à direita).

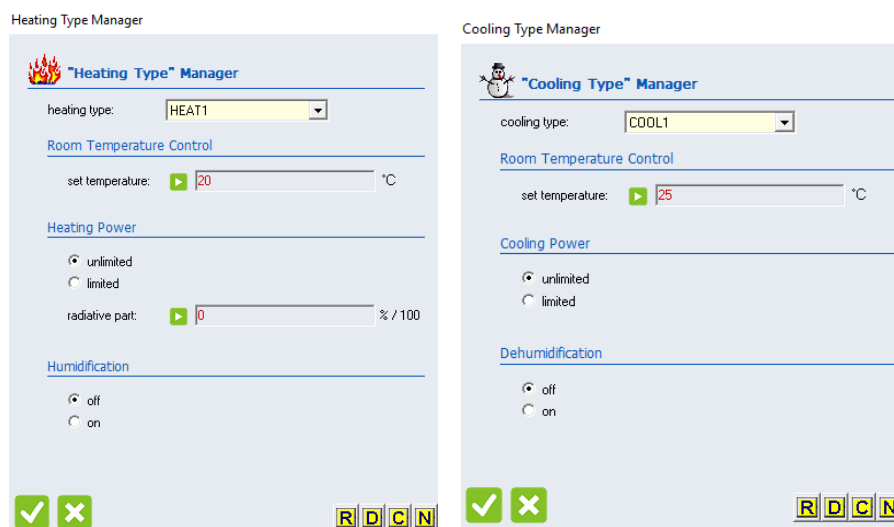


Figura 30: *Heating* (à direita) e *Cooling type Manager* (à esquerda)

4.2 Modelo 1 (situação real)

O primeiro modelo é o que mais se aproxima da situação real, fornecendo a base para o outro modelo definido posteriormente.

Nesta primeira abordagem, foi considerada a geometria real da habitação, as propriedades construtivas atuais, e ainda todos os parâmetros descritos no capítulo 3. Neste modelo não existe um horário de abertura e fecho das portadas, e as simulações realizadas consideram taxas de renovação de ar de 1 RPH e 0,8 RPH.

4.3 Modelo 2 (melhoramento com solar passiva)

Semelhante ao Modelo 1, o Modelo 2 diferencia-se nos elementos construtivos da habitação e nas taxas de renovação do ar. Neste modelo foi considerada a implementação de um isolamento térmico exterior de poliestireno ($\lambda=0,04$ W/mK) [26], tendo sido realizadas simulações para espessuras de isolamento de 3 cm, 5 cm e 7 cm. Também foram mudadas as janelas da habitação, substituindo as janelas simples por janelas duplas com preenchimento de Árgon, com $U=1,3$ W/m²K e $g=0,591$ [22]. Quanto às taxas de

renovação do ar, foram realizadas simulações para taxas de 0,8 RPH e 0,6 RPH, servindo a primeira como comparação com o Modelo 1.

Foi também implementado um horário de abertura/fecho das portadas exteriores de modo a estudar o efeito deste controlo nas temperaturas interiores e nas necessidades energéticas.

4.4 Modelo 2 (melhoramento com soluções solares ativas)

Para além das soluções solares passivas, o Modelo 2 final inclui soluções ativas propostas para a habitação. Estas soluções têm todas uma base renovável e estão incluídos um sistema fotovoltaico, um sistema de aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS), o uso de uma bomba de calor e ainda recurso a biomassa.

Para o estudo do sistema fotovoltaico (PV) foi utilizado o software TRNSYS encontrando-se o esquema modelado na Figura 31.

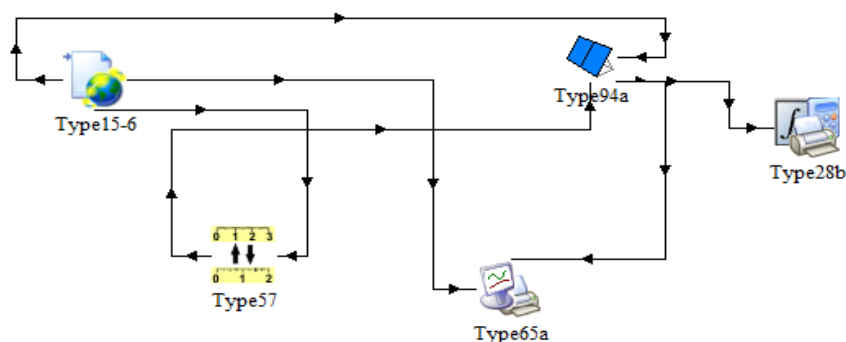


Figura 31: Sistema fotovoltaico no TRNSYS

Em relação ao sistema AQS, foi utilizado ao *software* Solterm, disponibilizado pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), pois este aparece como recomendado no REH. A metodologia utilizada neste programa segue o regulamento descrito no SCE.

A interface gráfica do sistema utilizado está apresentada na Figura 32.

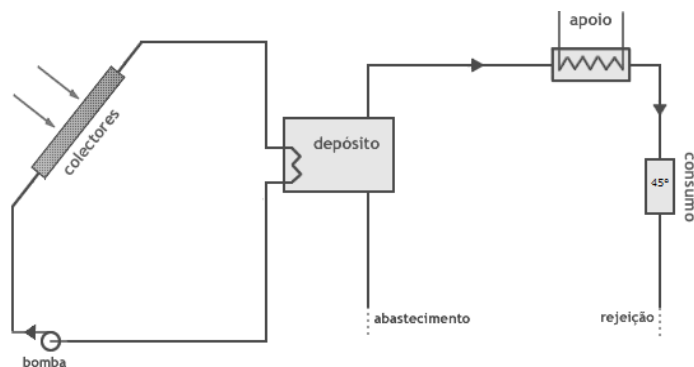


Figura 32: Sistema AQS no SolTerm

5. Resultados dos Modelos 1 e 2

Na primeira parte deste capítulo é feita uma análise individual sobre as temperaturas interiores e necessidades de aquecimento e arrefecimento dos Modelos 1 e 2. Foi escolhido não entrar em detalhe em todas as variações dos modelos, pois alguns resultados são semelhantes. Todas as tabelas relativas às necessidades energéticas de cada modelo, estão disponíveis no Anexo B.

Na segunda parte do capítulo é feita uma comparação entre os Modelos 1 e 2 com a finalidade de analisar o efeito das alterações propostas nas temperaturas interiores, e consequentemente, nas necessidades energéticas.

5.1 Resultados do Modelo 1

5.1.1 Temperaturas internas no Modelo 1

Como foi referido no tópico 4.2, este é o modelo que melhor se aproxima da situação real. As Figuras 33, 34 e 35 mostram, respetivamente, a variação da temperatura exterior e temperatura dos pisos ao longo do ano, no dia mais quente e no dia mais frio (para 1 RPH). Nesta simulação não foi considerado controlo das portadas nem qualquer tipo de sistema de aquecimento ou arrefecimento.

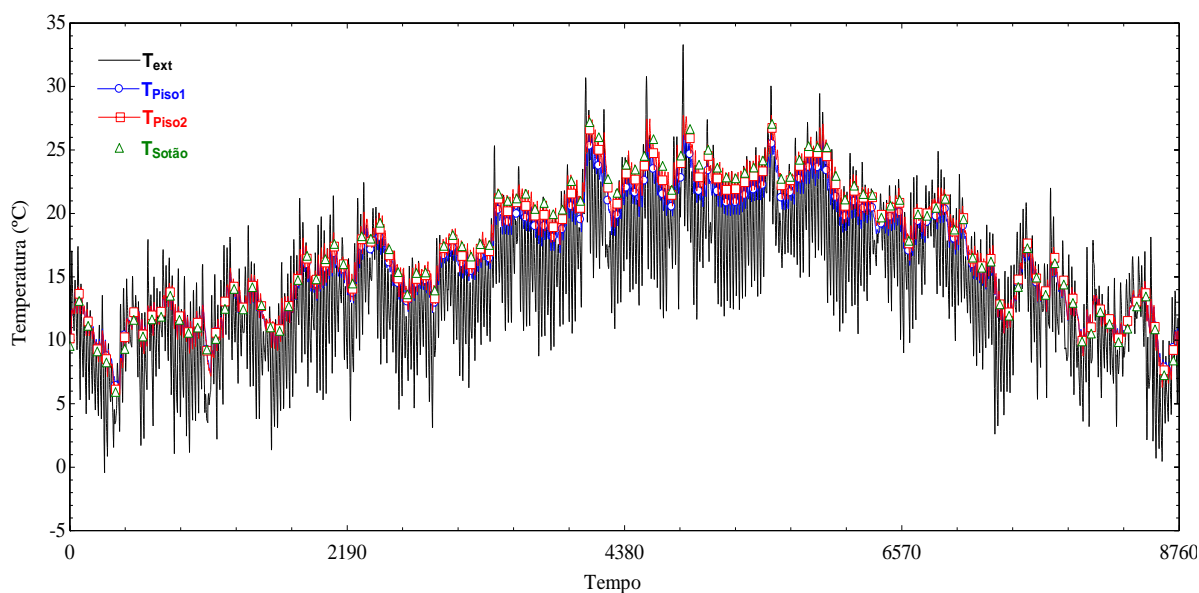


Figura 33: Variação anual das temperaturas interiores no Modelo 1 (1 RPH)

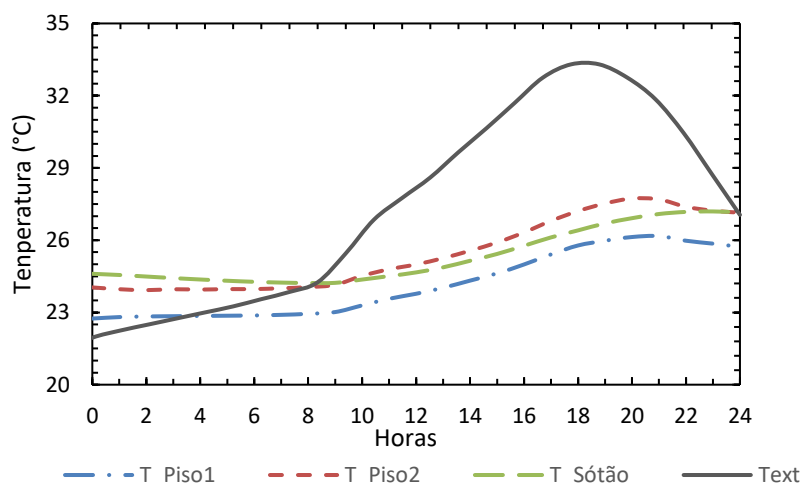


Figura 34: Temperatura das zonas termais do Modelo 1 (1 RPH) durante o dia 21 de Julho

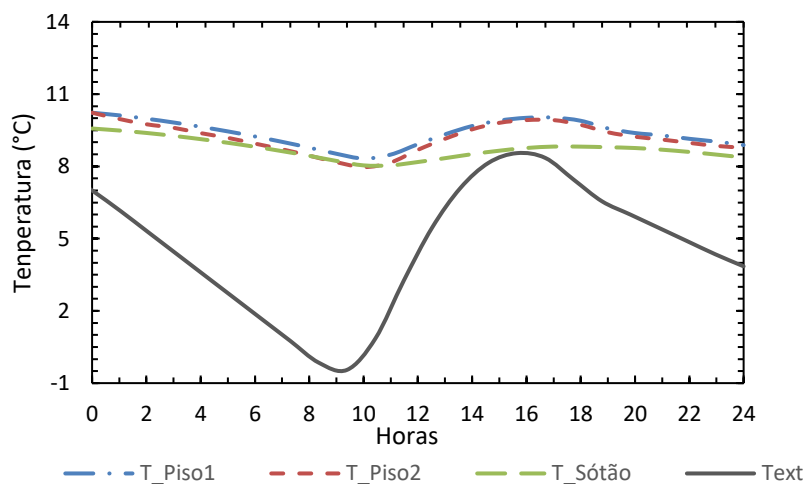


Figura 35: Temperatura das zonas termais do Modelo 1 (1 RPH) durante o dia 12 de Janeiro

Pela análise da Figura 33, é facilmente perceptível que existe uma elevada flutuação das temperaturas interiores ao longo do ano, sendo que raramente são atingidas temperaturas de conforto. Nos dias mais quentes as temperaturas interiores são bastante elevadas, podendo este fenómeno ser explicado devido à elevada área de envidraçado a Sul e Oeste. Nos dias mais frios, as temperaturas interiores são bastante baixas. Fatores como a baixa resistência térmica dos elementos construtivos e o elevado valor de renovações de ar por hora, podem explicar a falta de conforto durante este período do ano.

Outra ideia que se pode retirar através da comparação das Figuras 34 e 35, é que, ao contrário do que acontece no dia mais quente (Figura 34), no dia mais frio (Figura 35), o acompanhamento das temperaturas interiores em relação à temperatura exterior não é tão evidente. Isto pode ser explicado devido ao facto de ter sido considerada uma temperatura do solo constante ao longo do ano ($T=15^{\circ}\text{C}$). Esta consideração tem também consequências na estratificação das temperaturas. Como existem ganhos internos consideráveis no piso 2, seria

de esperar que a temperatura interna deste fosse sempre superior à temperatura do piso 1. Ainda que nem sempre aconteça, tal como se observa na Figura 35, a diferença de temperaturas entre o piso 1 e o piso 2, durante a estação de aquecimento (Novembro a Abril), é mínima, tendo um valor médio aproximado de 0,14°C. Durante o ano, a estratificação de temperaturas nos diferentes pisos é pouco apreciável, resultando numa diferença média anual das temperaturas entre o piso 1 e o piso 2 de -0,51°C, e entre o piso 2 e o sótão de 0,03°C. Como não foi realizada uma campanha de medição de temperaturas, não é possível comprovar se os resultados se aproximam da situação real. Porém, a aproximação das temperaturas entre os diferentes pisos e, o acompanhamento das temperaturas interiores em relação à temperatura exterior são critérios suficientes para prosseguir com o estudo deste modelo.

5.1.2 Necessidades energéticas do Modelo 1

Tendo em conta as temperaturas de conforto consideradas no tópico 3.6 (20 a 25°C), foram realizadas duas simulações, uma para uma taxa de renovações de ar de 1 RPH e outra para 0,8 RPH, com a finalidade de se obterem as necessidades mensais/anuais de aquecimento e arrefecimento.

Os valores obtidos estão representados nas Tabelas 12 e 13, encontrando-se no fim de cada tabela, os valores das necessidades energéticas por unidade de área. Para este cálculo foram considerados 325 m², valor correspondente à área dos três pisos.

Tabela 12: Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais para 1 RPH (Modelo 1)

	Q _{aquec} (kWh)			Q _{arref} (kWh)		
	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão
Jan	2797	2710	1556	0	0	0
Fev	2259	2148	1237	0	0	0
Mar	1910	1721	1015	0	0	0
Abr	1414	1189	698	0	0	0
Mai	812	582	348	0	0	0
Jun	264	130	71	8	59	48
Jul	6	0	0	17	93	64
Ago	6	0	0	7	43	25
Set	146	51	39	3	33	22
Oct	730	537	367	0	0	0
Nov	1934	1778	1060	0	0	0
Dez	2695	2600	1488	0	0	0
Anual	14973	13446	7879	35	228	160
Anual da casa	36299			423		
Anual da casa (kWh/m ²)	111,57			1,30		

Tabela 13: Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais para 0,8 RPH (Modelo 1)

	Q _{aquec} (kWh)			Q _{arref} (kWh)		
	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão
Jan	2614	2526	1482	0	0	0
Fev	2106	1994	1176	0	0	0
Mar	1766	1575	957	0	0	0
Abr	1295	1070	650	0	0	0
Mai	727	506	317	0	0	0
Jun	220	97	58	8	63	52
Jul	2	0	0	16	98	69
Ago	1	0	0	6	46	28
Set	119	35	31	3	37	25
Oct	662	473	340	0	0	0
Nov	1803	1647	1007	0	0	0
Dez	2522	2426	1419	0	0	0
Anual	13836	12349	7436	34	244	174
Anual da casa	33621			452		
Anual da casa (kWh/m ²)	103,35			1,39		

Para conhecer qual o desempenho energético atual, estes valores foram comparados com os valores limite das necessidades para aquecimento e arrefecimento descritos no Decreto-Lei nº 80/2006 [8].

De acordo com a diretiva, os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_i) de uma fração autónoma, dependem do fator de forma (FF) da fração autónoma e dos graus-dias (GD) do clima local. Para o cálculo destes limites, foram utilizadas as folhas de cálculo disponíveis no Anexo B (Tabela B.9).

Os resultados mostram que, para serem mantidas as condições de conforto, as necessidades nominais de aquecimento máximas são 84 kWh/m².ano, ou seja, os valores obtidos nas simulações ultrapassam os limites estabelecidos pelo RCCTE. Várias razões podem explicar este resultado. Em primeiro lugar, os valores atuais de transmissibilidade térmica da envolvente são bastante elevados. A anterior legislação portuguesa limita o valor máximo do coeficiente de transmissão térmica superficial relativo a elementos opacos verticais em $U_{máx}=1,60$ W/m²K para uma habitação situada na zona I2 (Norte). As paredes exteriores do modelo simulado têm um coeficiente de transmissão térmica superior ao valor máximo admissível segundo o RCCTE.

Em segundo lugar, a taxa de renovações de ar considerada não só é substancialmente superior ao valor de referência de 0,6 RPH, como poderá não representar corretamente a taxa de renovações de ar real.

Quanto às necessidades de arrefecimento, o limite para uma habitação localizada na zona V1 (Norte) é 16 kWh/m².ano. Em ambos os casos considerados, 1 e 0,8 RPH, o valor das necessidades de arrefecimento é substancialmente inferior ao limite estabelecido pelo RCCTE. Tal como foi mencionado para as necessidades de aquecimento, estes resultados estão afetados devido à taxa renovações de ar considerada ser uma média anual, como tal, este valor poderá não corresponder ao valor real durante a estação de arrefecimento.

5.2 Resultados do Modelo 2

Uma vez que a habitação foi construída nos anos 80, os valores de transmissibilidade térmica, são bastante elevados, levando a necessidades energéticas a serem superiores aos limites máximos legislados. Como foi mencionado no tópico 4.3, um novo modelo foi proposto e foi estudado o efeito de três espessuras de isolamento nas necessidades energéticas. A instalação de isolamento mencionada levou à diminuição do coeficiente de transmissão térmica superficial das paredes exteriores, resultando em *U-Values* de 0,708 W/m²K, 0,509 W/m²K e 0,397 W/m²K para espessuras de isolamento de 3 cm (I3), 5 cm (I5) e 7 cm (I7). Outra modificação proposta, foi a substituição das janelas atuais, o que resultaria em taxas de renovação de ar menores.

Os resultados presentes nos tópicos seguintes mostram o efeito das alterações consideradas.

5.2.1 Temperaturas internas do Modelo 2

Nas Figuras 36, 37 e 38 estão representadas, a variação da temperatura exterior e temperatura dos pisos ao longo do ano, durante o dia mais quente e durante dia mais frio, para o Modelo 2 com um isolamento exterior de 3 cm e uma taxa de renovações de ar de 0,6 RPH. À semelhança da abordagem utilizada para o Modelo 1, nas representações referidas não foi considerado um horário de abertura/fecho das portadas, nem qualquer tipo de sistema de aquecimento ou arrefecimento.

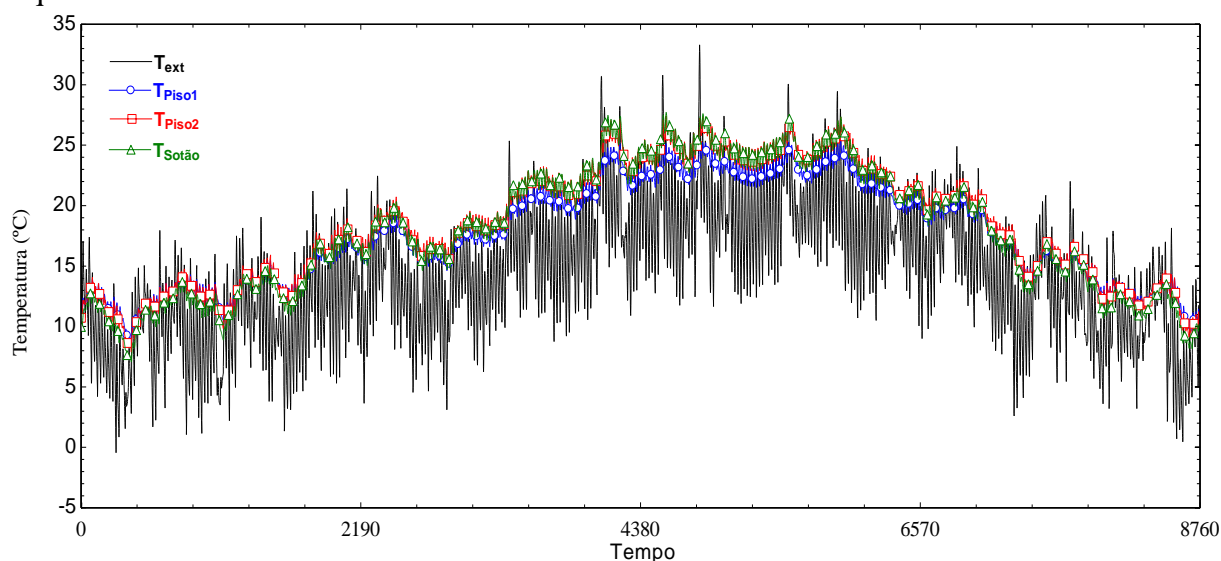


Figura 36: Variação anual das temperaturas no Modelo 2 (I3-0,6 RPH)

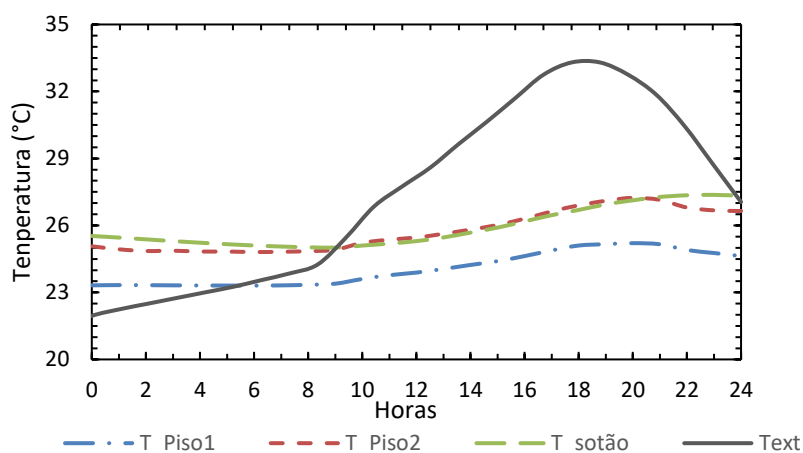


Figura 37: Temperaturas Modelo 2 (I3-0,6 RPH) durante o dia 21 Julho

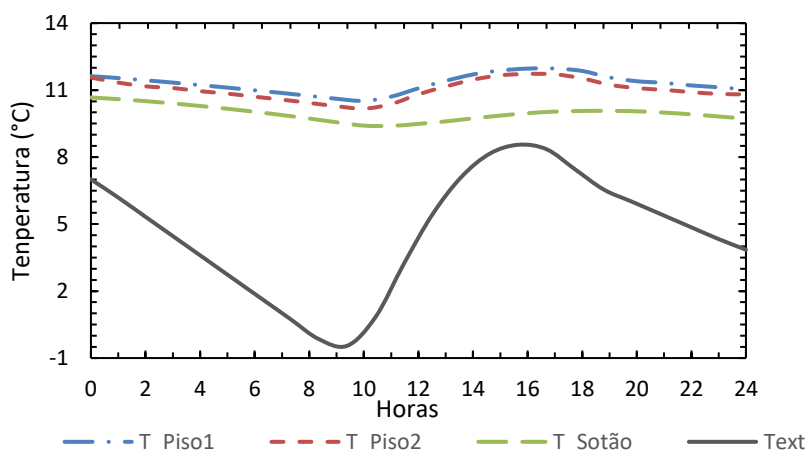


Figura 38: Temperaturas do Modelo 2 (I3-0,6 RPH) durante o dia 12 Janeiro

Semelhante ao que foi observado nos gráficos de temperatura do Modelo 1 (Figura 33, 34 e 35), o acompanhamento das temperaturas interiores em relação à temperatura exterior tem diferentes tendências durante os dias mais frios e dias mais quentes. Nos dias mais frios (representado pela Figura 38) continua a existir uma estratificação não esperada, sendo o piso 1 o mais quente ao longo do dia.

Nos dias quentes (Figura 37), comparativamente ao que acontece no Modelo 1, existe uma maior diferença de temperatura entre o piso 2 e o piso 1. Recorrendo aos valores de temperatura média diária, é possível concluir que existe uma diferença de 2°C entre os dois pisos.

No entanto, se for analisado o período anual, a estratificação de temperaturas nos diferentes pisos continua a ser pouco apreciável, resultando numa diferença média anual das temperaturas entre o piso 1 e o piso 2 de 0,35°C, e entre o piso 2 e o sótão de 0,24°C.

5.2.2 Necessidades energéticas do Modelo 2

A mesma metodologia utilizada no estudo do Modelo 1 foi aplicada ao Modelo 2, tendo sido obtidas novas necessidades de aquecimento e arrefecimento. Devido à elevada quantidade de valores, na Tabela 14 encontram-se sumariados os resultados obtidos para as necessidades de aquecimento e arrefecimento sem/com portadas. Em todas as situações, os valores apresentados correspondem às necessidades anuais de toda a habitação. Para uma análise mensal, detalhada por piso, os valores podem ser consultados no Anexo B.

Tabela 14: Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais no Modelo 2

		Sem Portadas				Com Portadas	
		Q_{aquec} anual	$\frac{Q_{aquec} \text{ anual}}{\text{Área}}$	Q_{arref} anual	$\frac{Q_{arref} \text{ anual}}{\text{Área}}$	Q_{arref} anual	$\frac{Q_{arref} \text{ anual}}{\text{Área}}$
RPH		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Modelo 2	0,8	19394	59,61	391	1,20	148	0,45
I3	0,6	16858	51,82	488	1,50	183	0,56
Modelo 2	0,8	17655	54,27	407	1,25	142	0,44
I5	0,6	15136	46,52	522	1,61	180	0,55
Modelo 2	0,8	16673	51,25	420	1,29	140	0,43
I7	0,6	14165	43,54	549	1,69	181	0,56

Os resultados obtidos revelam que para todos os casos estudados, os valores das necessidades energéticas de aquecimento são inferiores ao limite estabelecido no tópico 5.1.2 (84 kWh/m².ano). Também, como seria esperado, as necessidades de aquecimento diminuem com o aumento de isolamento e com a diminuição das taxas de renovação de ar.

Em relação às necessidades de arrefecimento, existe uma diminuição significativa quando é considerado um horário de abertura e fecho de portadas, e, estas contrariamente às necessidades de aquecimento, diminuem com o aumento da taxa de renovação de ar.

5.3 Comparação entre o Modelo 1 e Modelo 2

5.3.1 Temperaturas interiores

As temperaturas médias interiores, por estação de aquecimento e arrefecimento, encontram-se sumariadas na Tabela 15. Esta tabela inclui os resultados relativos ao Modelo 1 e ao Modelo 2, tendo em conta as diferentes taxas de renovação do ar estudadas. Estão também representados os resultados do Modelo 2 considerando a abertura e fecho de portadas.

Tabela 15: Temperaturas médias dos Modelos 1 e 2 por estação

		$T_{méd}$ (°C)	$T_{méd}$ (°C)	
		Estação aquecimento	Estação arrefecimento	
	RPH	Sem Portada	Sem Portada	Com Portada
Modelo 1	1	12,78	21,00	-
	0,8	12,89	21,08	-
Modelo 2 I3	0,8	13,60	21,78	21,02
	0,6	13,85	22,12	21,29
Modelo 2 I5	0,8	13,75	21,90	21,08
	0,6	14,03	22,28	21,37
Modelo 2 I7	0,8	13,84	21,98	21,12
	0,6	14,15	22,38	21,43

Uma rápida análise da Tabela 15 permite concluir que, nas simulações onde não existe controlo de portadas, as temperaturas médias interiores do Modelo 2 são sempre superiores às do Modelo 1, tanto na estação de aquecimento como na estação de arrefecimento.

Como esperado, a instalação de isolamento e diminuição de mudanças de ar leva a um aumento das temperaturas médias interiores, um efeito que é benéfico durante a estação de aquecimento, mas indesejável na estação de arrefecimento. De uma maneira geral, as temperaturas interiores aumentam aproximadamente 1°C com as mudanças propostas.

Nas situações em que é implementado um horário de abertura e fecho de portadas durante a estação de arrefecimento, o aumento de temperatura mencionado anteriormente deixa de existir durante o período considerado, sendo este efeito mais pronunciado para os modelos com taxas de renovação de ar superiores.

5.3.2 Necessidades de aquecimento e efeito do isolamento

Como já foi concluído, o conjunto de soluções passivas propostas traz como consequência uma redução significativa das necessidades de aquecimento.

Para melhor visualizar o efeito das alterações, numa primeira abordagem foram estudados os modelos com as mesmas taxas de renovação horárias de forma a concluir qual o efeito do isolamento nas necessidades energéticas. Nesta abordagem compararam-se as necessidades de aquecimento obtidas no Modelo 1 (M1) com 0,8 RPH (Tabela 13), com as necessidades de aquecimento do Modelo 2 com espessuras de isolamento de 3 cm (I3), 5 cm (I5) e 7 cm (I7). Na Figura 39 estão apresentadas de uma forma gráfica as necessidades de aquecimento mensais dos modelos mencionados.

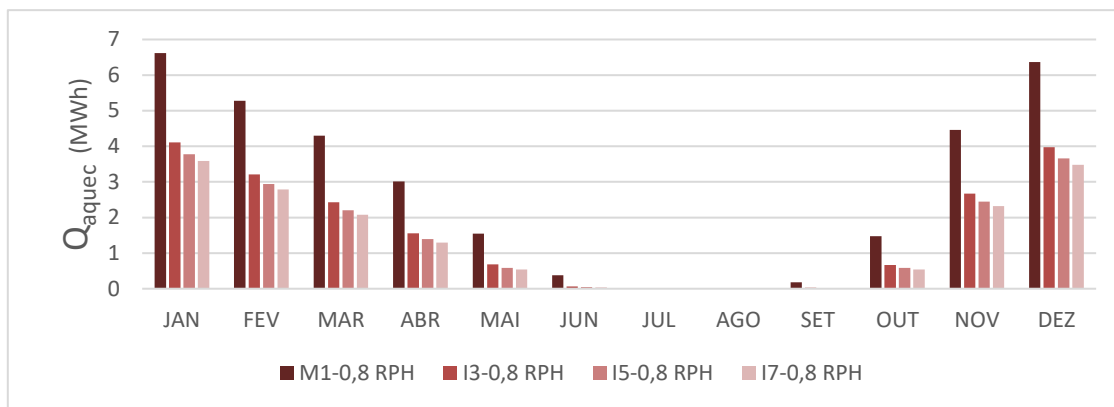


Figura 39: Necessidades de aquecimento mensais do Modelo 1 e Modelo 2 (0,8 RPH)

Através da análise da Figura 39 é perceptível que a espessura de isolamento e as necessidades de aquecimento são inversamente proporcionais. Para além disso, a instalação de espessuras de isolamento superiores a 3 cm não resulta em diminuições significativas nas necessidades de aquecimento. Isto acontece porque a instalação de maiores espessuras de isolamento não traduz num aumento considerável das temperaturas médias internas (mencionado no tópico 5.3.1). Considerando o Modelo 1 com uma taxa de renovação de 0,8 RPH como referência, caso seja instalado um isolamento de 3 cm, haverá uma diminuição de 42% das necessidades de aquecimento anuais. No caso de serem instalados 5 cm ou 7 cm de isolamento, as respetivas reduções serão de 47,5% e 50%, o que significa que, para a mesma taxa de renovação de ar, existirá apenas uma redução de 8% entre os modelos com 3 cm e 7 cm de isolamento.

Um segundo estudo foi feito, desta vez numa perspetiva mais realista, ou seja, não só foi considerado o efeito do isolamento, como também a diminuição das taxas de renovação de ar. De forma a visualizar o efeito das alterações propostas, a Figura 40 apresenta graficamente os valores mensais obtidos para o Modelo 1 com 1 RPH e as diferentes variações do Modelo 2 com 0,6 RPH.

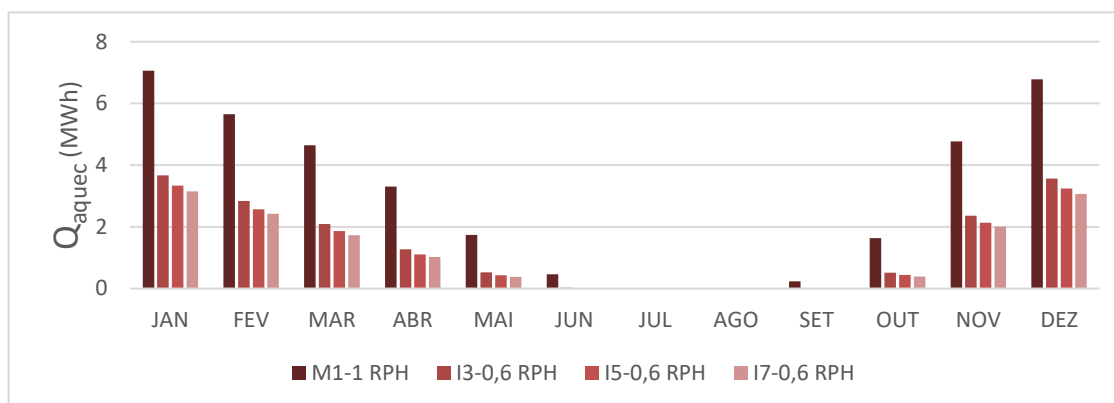


Figura 40: Necessidades de aquecimento mensais do Modelo 1 (1 RPH) e Modelo 2 (0,6 RPH)

Neste cenário as reduções das necessidades de aquecimento foram de 53% para 3 cm de isolamento, 58% para 5 cm de isolamento e 61%. Mais uma vez, mesmo quando também é considerada uma mudança nas renovações de ar, apenas existe uma redução de 8% quando é comparado o modelo de 3 cm com o modelo de 7 cm.

5.3.3 Necessidades de arrefecimento e efeito das portadas

Apesar das necessidades de arrefecimento terem menor importância energética comparativamente com as de aquecimento, a redução das mesmas poderá possibilitar uma poupança energética considerável. Esta redução pode facilmente ser obtida através da utilização das portadas já existentes na habitação. Na Figura 41 estão representados os valores anuais de necessidades de arrefecimento, disponíveis nas Tabelas 12, 13 e 14. Estas representações incluem os resultados obtidos no Modelo 2 para espessuras de isolamento de 3 (I3), 5 (I5) e 7 (I7) cm, considerando taxas de renovação de 0,8 e 0,6 RPH. Para efeito de comparação, estão também representados os valores do Modelo 1 (M1) correspondentes a taxas de renovação de 1 e 0,8 RPH.

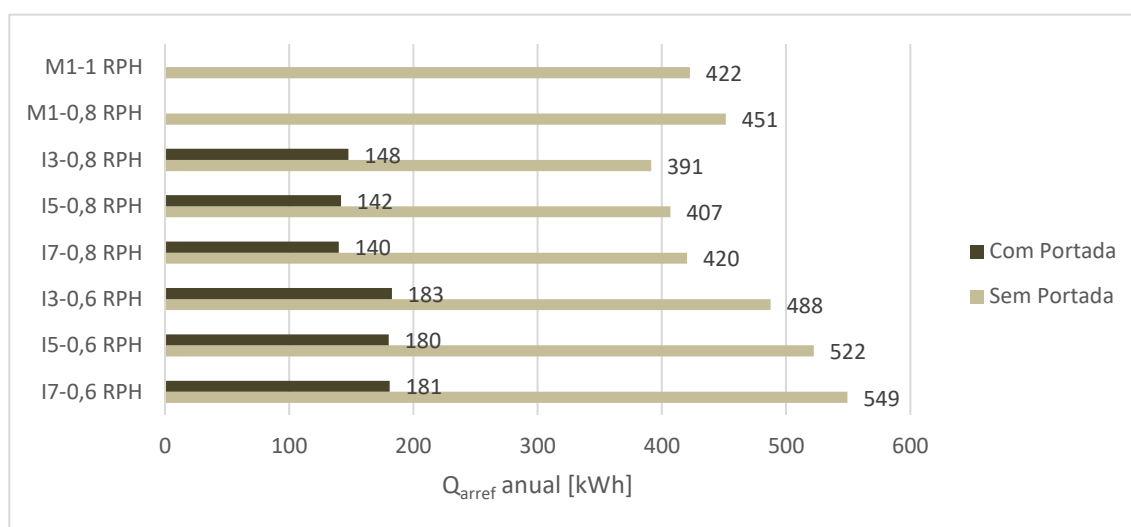


Figura 41: Necessidades de arrefecimento dos Modelos 1 e 2

Analisando os resultados é possível concluir que a implementação de um horário de abertura e fecho de portadas leva a uma redução considerável das necessidades de arrefecimento. Tanto nos modelos com 0,6 RPH, como nos modelos com 0,8 RPH foram obtidas reduções de 62%, 66% e 67% das necessidades de arrefecimento (para 3 cm, 5 cm e 7 cm de isolamento).

Esta elevada redução das necessidades de arrefecimento prende-se ao facto de, associado ao clima considerado, onde existem poucos dias em que a temperatura exterior é significativamente superior a 25°C, haver ainda uma diminuição das temperaturas médias interiores em 1°C devido ao controlo das portadas.

Com esta diminuição, o valor das necessidades de arrefecimento torna-se irrelevante comparativamente às necessidades de aquecimento. Devido a este facto, estas não irão ser consideradas a partir do capítulo 6.

5.4 Sumário dos resultados

Na Tabela 16 estão sumariados os valores das necessidades energéticas associadas ao Modelo 1 e Modelo 2.

Tabela 16: Necessidades energéticas anuais do Modelo 1 e Modelo 2

		Sem Portadas				Com Portadas	
		Q_{aquec} <i>anual</i>	$\frac{Q_{aquec} \text{ anual}}{\text{Área}}$	Q_{arref} <i>anual</i>	$\frac{Q_{arref} \text{ anual}}{\text{Área}}$	Q_{arref} <i>anual</i>	$\frac{Q_{arref} \text{ anual}}{\text{Área}}$
RPH		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Modelo 1	1	36299	111,57	422	1,3	-	-
	0,8	33622	103,35	451	1,39	-	-
Modelo 2 I3	0,8	19394	59,61	391	1,20	148	0,45
	0,6	16858	51,82	488	1,50	183	0,56
Modelo 2 I5	0,8	17655	54,27	407	1,25	142	0,44
	0,6	15136	46,52	522	1,61	180	0,55
Modelo 2 I7	0,8	16673	51,25	420	1,29	140	0,43
	0,6	14165	43,54	549	1,69	181	0,56

Após a análise realizada nos tópicos 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3 pode-se concluir o seguinte:

- A instalação de isolamento resulta num aumento das temperaturas interiores, que consequentemente leva a uma diminuição das necessidades anuais de aquecimento
- É preferível uma menor taxa de renovações de ar devido ao elevado peso das necessidades de aquecimento
- O controlo das portadas durante a estação de arrefecimento contrabalança o aumento da temperatura causado pela instalação de isolamento exterior.
- A reabilitação da fachada exterior através de soluções solares passivas, leva não só a um melhoramento energético da habitação, como também a coloca dentro dos limites energéticos estabelecidos por lei.
- A instalação de espessuras de isolamento superiores a 3 cm não resulta em poupanças energéticas consideráveis

6. Soluções de base Renovável

Neste capítulo é feito um estudo energético e económico relativo ao sistema de biomassa utilizado sendo ainda propostas e estudadas soluções do tipo fotovoltaico, térmica solar e a utilização de uma bomba de calor.

6.1 Biomassa

Nos 37 anos de ocupação da habitação, o aquecimento foi sempre realizado através da combustão de biomassa disponível na área. Esta biomassa provem de diferentes origens, no entanto, não é a mais adequada para aquecimento. Para ser obtida uma melhor combustão, madeiras como eucalipto (PCI = 3,2 kWh/kg) ou carvalho (PCI = 2,7 kWh/kg) são geralmente utilizadas para climatização de casas situadas na zona Norte.

Para o cálculo das necessidades energéticas, de um sistema de queima de biomassa sólida, quando este é utilizada para climatização, recorre-se à Equação 2.

$$E_{nec} = \frac{Q_{aque}}{\eta_k} \quad (2)$$

Nesta equação E_{nec} representa a energia necessária, Q_{aque} as necessidades de aquecimento e η_k o rendimento do sistema.

A Tabela 17 apresenta a quantidade de biomassa necessária para satisfazer as necessidades de aquecimento anuais. No cálculo realizado foi assumindo que o recuperador de calor tem um rendimento de 75%.

Tabela 17: Quantidade de madeira necessária anualmente

			Quantidade de lenha (kg)		
	RPH	Q_{aquec} anual (kWh)	E_{nec} (kWh)	Eucalipto	Carvalho
Modelo 1	1	36299	48399	15125	17925
	0,8	33622	44830	14009	16604
Modelo 2	0,8	19394	25859	8081	9577
I3	0,6	16858	22477	7024	8325
Modelo 2	0,8	17655	23541	7356	8719
I5	0,6	15136	20181	6307	7475
Modelo 2	0,8	16673	22231	6947	8234
I7	0,6	14165	18887	5902	6995

Nota: PCI das madeiras, correspondem a um tempo de secagem médio de 6 meses [27]

Os valores apresentados na Tabela 17, correspondem às necessidades de aquecimento anuais, considerando que existe conforto térmico durante 24 horas. Contudo, não só os ocupantes não estão 24 horas na habitação, como também é fisicamente impossível e não seguro, a queima de biomassa durante o período considerado. Estudando apenas a estação de aquecimento (Novembro a Abril), e caso apenas sejam consideradas 6 horas por dia de queima de biomassa (das 18 às 24 horas), na Tabela 18 estão apresentadas as quantidades de lenha para o período mencionado.

Tabela 18: Quantidade de madeira necessária durante a estação de aquecimento (6 horas)

			Quantidade de lenha (kg)		
Q_{aquec}					
	RPH	Estação aquecimento (6 horas) (kWh)	E_{nec} (kWh)	Eucalipto	Carvalho
Modelo 1	1	8052	10737	3355	3977
	0,8	7509	10011	3129	3708
Modelo 2	0,8	4490	5986	1871	2217
I3	0,6	3947	5262	1645	1949
Modelo 2	0,8	4106	5474	1711	2028
I5	0,6	3563	4751	1485	1760
Modelo 2	0,8	3888	5184	1620	1920
I7	0,6	3346	4462	1394	1652

6.2 Produção de Eletricidade

Analisando o terreno disponível, existem duas localizações possíveis para instalação de um sistema fotovoltaico. Na Figura 42 está representada a vermelho a localização 1, e a amarelo a localização 2.

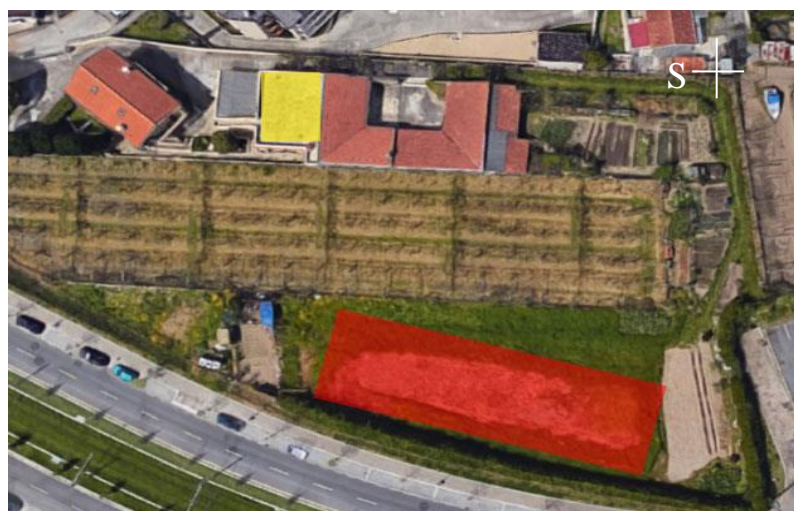


Figura 42: Vista aérea da propriedade, localização 1 (a vermelho) e localização 2 (a amarelo)

A primeira localização considerada foi um terreno agrícola subaproveitado, pertencente ao proprietário do terreno (localização 1). Atualmente este terreno é parcialmente aproveitado para o cultivo de vegetais. Numa perspectiva de produção energética, esta seria a melhor localização para a instalação dos painéis solares devido à excelente exposição solar e inexistência de sombreamento ao longo do ano. Porém, como a área se destina ao cultivo de vegetais e o valor comercial do terreno é considerável, esta localização foi rapidamente descartada.

Como segunda abordagem, foi estudada a localização 2. Esta localização tem 94 m² e corresponde ao terraço de outra habitação na propriedade. Como no exemplo em estudo estão apenas a ser consideradas as necessidades energéticas para 4 pessoas, o espaço disponível nesta localização é suficiente.

Tal como na localização 1, a localização 2 tem uma boa exposição solar, contudo, como existe um prédio a oeste da propriedade, foi necessário estudar o possível efeito de sombreamento durante algumas alturas do ano.

Para este estudo, foi utilizada a ferramenta *Sun position* [28]. O estudo de possíveis sombreamentos não foi muito aprofundado, tendo sido apenas estudados os dias correspondentes aos solstícios de Inverno e de Verão. O solstício de Inverno foi considerado por corresponder ao dia com menor altura solar, e o solstício de Verão foi considerado por representar o dia solar mais longo do ano.

Na Figura 43 estão apresentados os percursos solares durante o dia 21 de Dezembro (à direita) e durante o dia 21 Junho (à esquerda).

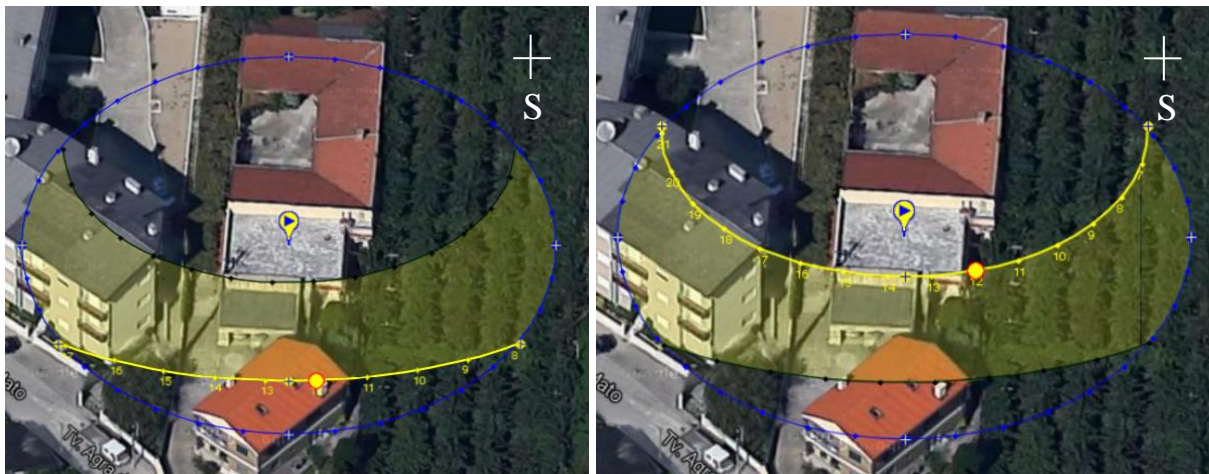


Figura 43: Percurso solar no dia 21 de Dezembro (à direita) e no dia 21 Junho (à esquerda)

Observando os percursos solares nos dias considerados, é possível concluir que o prédio tem pouca influência no sombreamento do terraço. Durante o Inverno o terraço não é sombreado e durante o Verão, só depois das 17 horas é que poderá existir sombra. Este problema pode ser facilmente resolvido colocando os painéis no lado direito do terraço.

Depois de descartada a possibilidade de sombreamento, procedeu-se à escolha dos módulos PV a utilizar. Os módulos escolhidos para a instalação são painéis policristalinos produzidos pela empresa Trinasolar. As informações relativas a estes módulos podem ser consultadas no Anexo C.

Escolhida a localização e os painéis a instalar, foi realizada uma simulação no TRNSYS de modo a estimar a produção elétrica ($Energia_{PV}$) para diferentes áreas de painéis. Os resultados estão apresentados na Tabela 19. Nesta simulação foi assumida uma inclinação dos painéis igual à latitude do local, ou seja 41°, e orientação Sul.

Tabela 19: Produção elétrica mensal e anual			
$Energia_{PV}$ (kWh)			
Área (m ²)	4	6	8
Jan	64,88	97,32	129,76
Fev	65,10	97,65	130,20
Mar	98,22	147,32	196,43
Abr	97,59	146,39	195,18
Mai	109,00	163,50	217,99
Jun	109,58	164,37	219,16
Jul	110,66	165,99	221,32
Ago	114,17	171,25	228,34
Set	102,24	153,36	204,48
Out	87,10	130,66	174,21
Nov	59,14	88,71	118,28
Dez	50,89	76,34	101,79
Anual	1068,56	1602,84	2137,12
Anual (com inversor $\eta=0,95$)	1015,13	1522,70	2030,26

Através das faturas elétricas mensais, é possível determinar o impacto deste tipo de solução no consumo da rede elétrica. O consumo elétrico no ano de 2016 foi cerca de 3200 kWh, o que significa que, a instalação de 4 m², 6 m² ou 8 m² de painéis PV poderá originar, respetivamente, uma redução de 32%, 48 % e 63 % nos consumos de elétricos na rede.

6.3 Bomba de Calor

Outra solução para satisfazer as necessidades de aquecimento seria a instalação de uma bomba de calor alimentada pelo sistema fotovoltaico. Para o conhecimento da potência máxima necessária foram utilizados os dados relativos às necessidades de aquecimento de cada modelo. A Tabela 20 mostra as potências máximas necessárias para cada modelo e para cada piso.

Tabela 20: Potências máximas

		Potência máxima (kW)			
	RPH	Piso 1	Piso 2	Sótão	
Modelo 1	1	6,25	6,50	3,41	
	0,8	5,80	6,05	3,23	
Modelo 2	0,8	3,39	3,67	2,64	
I3	0,6	2,96	3,21	2,46	
Modelo 2	0,8	3,09	3,43	2,57	
I5	0,6	2,64	2,98	2,39	
Modelo 2	0,8	2,92	3,31	2,53	
I7	0,6	2,47	2,85	2,36	

De acordo com os dados obtidos, seria necessária uma bomba com uma potência superior a 6,50 kW para o Modelo 1 e 3,67 kW para o Modelo 2. Porém, os dados meteorológicos utilizados são representativos de um ano médio, o que pode significar que a potência calculada seja insuficiente num ano mais frio. De modo a aumentar a margem de segurança, aumentaram-se os valores das potências máximas em 5% passando estes a ser 6,83 kW e 3,85 kW respetivamente.

Depois de uma análise das soluções disponíveis no mercado, as bombas de calor KIT-E18-SKEM e KIT-E7-SKEM da empresa Panasonic foram escolhidas para uma análise energética e económica no Modelo 1 e Modelo 2 [29]. Estas bombas têm, respetivamente, COPs nominais de aquecimento de 3,30 e 4,48 e as informações técnicas estão disponíveis no Anexo C.

Devido às elevadas necessidades de aquecimento, a energia produzida pelo sistema fotovoltaico poderá não ser suficiente para alguns modelos. Para o cálculo da energia adicional, a Equação 3 foi utilizada.

$$Energia_{rede} = \frac{Q_{aquec}}{COP} - Energia_{PV} \quad (3)$$

Nesta equação $Energia_{rede}$ é a energia adicional necessária da rede elétrica para alimentar a bomba de calor.

Na Tabela 21 estão apresentadas as quantidades de energia elétrica da rede necessárias para satisfazer as necessidades de aquecimento anuais de cada modelo. Este estudo foi feito para as áreas de painéis fotovoltaicos estudadas (4 m², 6 m² e 8 m²).

Tabela 21: Energia anual adicional necessária para alimentar a bomba de calor

		<i>Energia_{rede}</i> (kWh)			
	RPH	<i>Q_{aquec}</i> (kWh)	4 m ²	6 m ²	8 m ²
Modelo 1	1	36299	9985	9477	8969
	0,8	33622	9173	8666	8158
Modelo 2	0,8	19394	3314	2806	2299
I3	0,6	16858	2748	2240	1733
Modelo 2	0,8	17655	2926	2418	1911
I5	0,6	15136	2363	1856	1348
Modelo 2	0,8	16673	2707	2199	1691
I7	0,6	14165	2147	1639	1132

Semelhante ao que foi referido na análise ao sistema de biomassa, não existe necessidade de a bomba de calor trabalhar 24 horas por dia durante todo o ano.

Na Tabela 22 estão apresentadas as quantidades de energia elétrica adicional para satisfazer as condições definidas no tópico 6.1 (estação de aquecimento durante 6 horas diárias) tendo em conta as diferentes áreas de painéis estudadas.

Tabela 22: Energia adicional necessária para alimentar a bomba de calor(estação aquec. durante 6 horas)

		<i>Energia_{rede}</i> (kWh)			
	RPH	<i>Q_{aquec}</i> Estação aquecimento (6 horas) (kWh)	4 m ²	6 m ²	8 m ²
Modelo 1	1	8052	1425	917	410
	0,8	7509	1260	753	245
Modelo 2	0,8	4490	-13	-520	-1028
I3	0,6	3947	-134	-642	-1149
Modelo 2	0,8	4106	-99	-606	-1114
I5	0,6	3563	-220	-727	-1235
Modelo 2	0,8	3888	-147	-655	-1162
I7	0,6	3346	-268	-776	-1283

Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que a utilização do sistema fotovoltaico para alimentação da bomba levará a maiores benefícios para os modelos com isolamento.

Nestes modelos, o conjunto bomba de calor e sistema fotovoltaico com apenas 4 m² é capaz de satisfazer as necessidades de aquecimento para o período considerado, sobrando ainda energia (valores negativos).

6.4 AQS

Na situação atual, o aquecimento de águas sanitárias (AQS) é feito recorrendo a um esquentador alimentado a gás propano. De modo a diminuir a dependência energética, foi estudada a opção de implementação de um sistema de circulação forçada, montando o coletor na cobertura da habitação. A cobertura apresenta excelente exposição solar e nunca está exposta a qualquer tipo de sombreamento. Porém, devido à geometria da habitação, apenas é possível instalar os coletores solares segundo a orientação Sudeste (-48°) ou Noroeste (+134°).

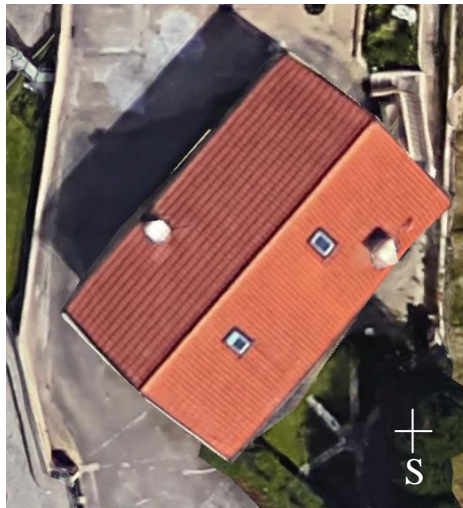


Figura 44: Visão aérea da cobertura

Para ser obtida uma maior fração solar, os coletores foram orientados para Sudeste (-48°) e estudados para uma inclinação de 30°, correspondente à inclinação da cobertura. A escolha de orientação surgiu após o estudo do perfil de banhos dos ocupantes. Como preferencialmente os ocupantes tomam banho de manhã, a colocação dos coletores numa orientação mais a Este, levará a uma melhor performance energética do sistema. Na Figura 45 está representado o perfil de banhos dos 4 ocupantes (a 45°C).

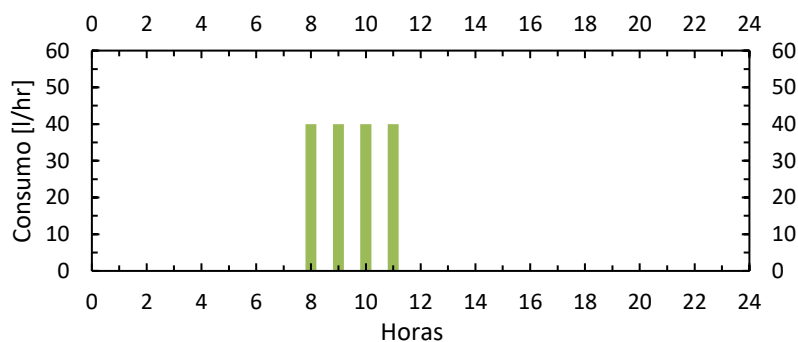


Figura 45: Horário de banho dos ocupantes

Por não ter sido possível o estudo do consumo de água diário, o perfil mostrado na Figura 45 foi utilizado como simplificação nas simulações consideradas.

Para o estudo energético do sistema, foi escolhido um kit de instalação composto por dois coletores solares planos (FPC), modelo FCC-2S da empresa Vulcano [30], e um depósito de 200 l da mesma empresa. Os dados técnicos relativos aos coletores escolhidos podem ser consultados no Anexo C.

Escolhidos todos os parâmetros, foi realizada uma simulação no software SolTerm com o objetivo de se obterem as frações solares mensais e a fração anual. Os resultados destas simulações encontram-se na Tabela 23.

Tabela 23: Frações solares mensais e anuais

	$Q_{\text{útil}}$ (kWh)	Q_{carga} (kWh)	Q_{aux} (kWh)	Fração Solar
Jan	64	194	130	0,33
Fev	72	174	102	0,41
Mar	98	187	90	0,52
Abr	118	177	59	0,67
Mai	124	176	52	0,70
Jun	128	162	31	0,79
Jul	137	162	25	0,85
Ago	135	163	27	0,83
Set	113	161	48	0,70
Out	99	174	76	0,57
Nov	70	181	110	0,39
Dez	64	193	129	0,33
Anual	1220	2104	883	0,58

Com os parâmetros de simulação considerados, foi obtida uma fração solar anual de 58%, um resultado que se aproxima ao valor indicativo para este tipo de kit [31].

Em termos energéticos, este sistema levará a uma poupança energética anual de 1220 kWh, valor que se traduz em 1627 kWh de propano equivalente.

6.5 Análise económica preliminar

Após o estudo das soluções de base renovável, é possível verificar, de uma maneira simplista, as possíveis poupanças monetárias que cada sistema poderá trazer.

Biomassa

Começando com o sistema de queima de biomassa, o cálculo dos custos anuais associados é bastante simples, sendo apenas necessário conhecer a quantidade anual de biomassa necessária e o preço por kg de cada tipo de lenha. Recorrendo aos valores apresentados na Tabela 18 (quantidade de biomassa para a estação de aquecimento durante 6 horas), o custo anual para cada modelo está apresentado na Tabela 24.

Tabela 24: Custo da biomassa necessária para a estação de aquecimento (6 horas)

		Preço (€)			
	RPH	Eucalipto (kg)	Carvalho (kg)	Eucalipto (0,1 €/kg)	Carvalho (0,12 €/kg)
Modelo 1	1	3355	3977	335,52	477,18
	0,8	3129	3708	312,86	444,95
Modelo 2	0,8	1871	2217	187,07	266,05
I3	0,6	1645	1949	164,45	233,89
Modelo 2	0,8	1711	2028	171,07	243,30
I5	0,6	1485	1760	148,48	211,16
Modelo 2	0,8	1620	1920	162,01	230,41
I7	0,6	1394	1652	139,43	198,30

Analisando os resultados, a melhor solução económica seria a compra de lenha de eucalipto. Este tipo de lenha é caracterizado pela ausência de libertação de fumos durante a sua combustão e, pode facilmente ser adquirida na região Norte. No entanto, quando comparado com lenhas como o carvalho, ou a azinheira, a sua combustão é mais rápida.

Fotovoltaico (PV)

Em relação ao sistema PV, vários parâmetros foram previamente definidos para a análise da viabilidade económica do mesmo.

Em primeiro lugar foi necessário conhecer os custos associados a um sistema fotovoltaico residencial. Como não foi realizado um estudo pormenorizado dos componentes utilizados e preços de instalação, foi assumido um preço de 1500 €/kWp (sem IVA). Este valor resultou de duas referências. A primeira diz respeito ao relatório anual do setor fotovoltaico feito pela comissão europeia em 2016. Neste relatório um sistema PV residencial ligado à rede com uma produção anual de 1000 kWh/kWp.ano, apresenta um preço médio de 1350 €/kWp (sem financiamento e sem IVA incluídos) [32].

Um segundo valor de referência foi retirado de um estudo realizado pelo instituto alemão Fraunhofer ISE (2013). Neste documento o preço médio de pequenos sistemas PV instalados na região Sul da Alemanha, têm um custo médio entre 1300 e 1800 €/kWp [33].

Conhecido o valor de investimento inicial, o segundo parâmetro a definir foi a taxa de degradação anuais dos painéis utilizados. Este fator depende do painel utilizado e é um parâmetro fornecido pelo fabricante. A Figura 46 apresenta eficiência do painel escolhido num espaço temporal de 25 anos.

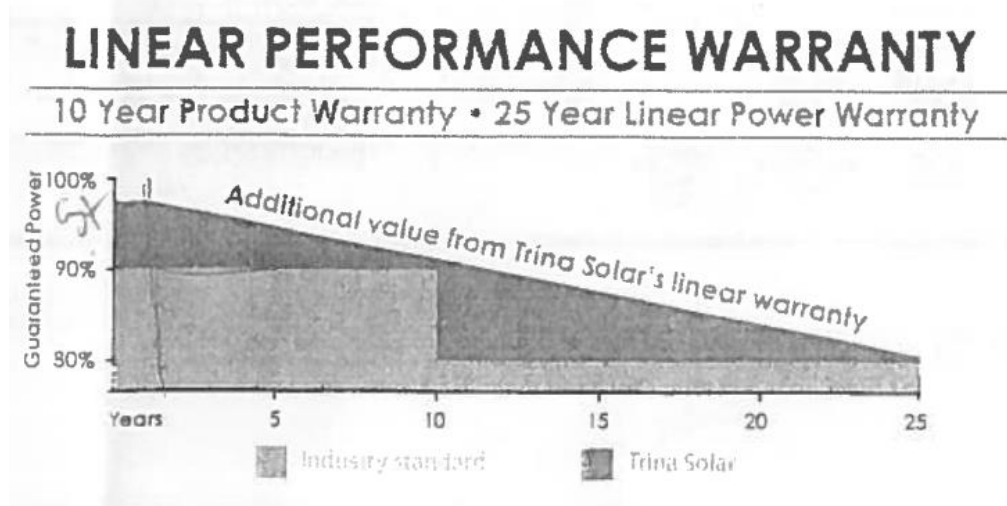


Figura 46: Performance dos painéis PV

Como é possível observar, os painéis utilizados têm uma eficiência de 97% para o primeiro ano, e uma taxa de degradação anual de 0,67% para os anos seguintes.

Para o cálculo do prazo de retorno do investimento foram calculadas as faturas anuais com e sem o sistema fotovoltaico. As Equações 4 e 5 foram utilizadas para essa análise.

$$Fatura\ ç\tilde{a}o\ S/PV = Consumo_{ele} \times tarifa \quad (4)$$

$$Fatura\ ç\tilde{a}o\ C/PV = (Consumo_{ele} - Energia_{PV}) \times tarifa \quad (5)$$

Onde:

- *Faturaçã o S/PV* corresponde à fatura elétrica anual sem produção fotovoltaica (€)
- *Faturaçã o C/PV* corresponde à fatura elétrica anual com produção fotovoltaica (€)
- *Consumo_{ele}* é a energia elétrica consumida anualmente (kWh)
- *Energia_{PV}* é a produção anual de energia fotovoltaica (kWh)
- *Tarifa* é o valor do custo de eletricidade incluindo o preço da potência contratada (€).

Com valores obtidos foi calculada a poupança anual, descrita pela Equação 6.

$$Poupança\ anual = Fatura\ ç\tilde{a}o\ S/PV - Fatura\ ç\tilde{a}o\ C/PV \quad (6)$$

Estes cálculos foram realizados para as áreas de painéis estudadas (4, 6 e 8 m²).

Nas análises económicas realizadas foi considerada uma taxa de inflação anual de 3% do custo de eletricidade [34], uma tarifa elétrica simples com uma potência contratada de 17,25 kVa (0,1641 €/kWh e 0,7251€/dia – Sem IVA) e um consumo anual de 3200 kWh.

A previsão económica detalhada para o caso de 4 m² está apresentada na Tabela 25.

Tabela 25: Previsão económica durante 25 anos (4 m²)

Ano	Preço eletricidade S/IVA (€)	Faturação S/PV (€)	Produção C/PV (kWh)	Faturação C/PV (€)	Poupança Annual (€)	Cash-flows acumulados (€)
0	-	-	-	-	-	-1143,90
1	0,1641	971,43	984,68	772,68	198,75	-945,15
2	0,1690	990,81	978,08	787,47	203,34	-741,81
3	0,1741	1010,77	971,53	802,73	208,04	-533,77
4	0,1793	1031,32	965,02	818,48	212,84	-320,93
5	0,1847	1052,50	958,55	834,74	217,76	-103,17
6	0,1902	1074,31	952,13	851,52	222,79	119,62
7	0,1959	1096,77	945,75	868,83	227,94	347,56
8	0,2018	1119,91	939,41	886,71	233,20	580,76
9	0,2079	1143,74	933,12	905,15	238,59	819,35
10	0,2141	1168,28	926,87	924,18	244,10	1063,45
11	0,2205	1193,57	920,66	943,83	249,74	1313,18
12	0,2272	1219,61	914,49	964,10	255,51	1568,69
13	0,2340	1246,43	908,36	985,02	261,41	1830,10
14	0,2410	1274,06	902,28	1006,61	267,45	2097,54
15	0,2482	1302,51	896,23	1028,89	273,62	2371,17
16	0,2557	1331,82	890,23	1051,88	279,94	2651,11
17	0,2633	1362,01	884,26	1075,60	286,41	2937,52
18	0,2712	1393,10	878,34	1100,08	293,03	3230,55
19	0,2794	1425,13	872,45	1125,34	299,80	3530,35
20	0,2878	1458,12	866,61	1151,40	306,72	3837,07
21	0,2964	1492,10	860,80	1178,29	313,81	4150,87
22	0,3053	1527,09	855,03	1206,04	321,05	4471,93
23	0,3144	1563,14	849,30	1234,67	328,47	4800,40
24	0,3239	1600,27	843,61	1264,21	336,06	5136,45
25	0,3336	1638,51	837,96	1294,69	343,82	5480,27

Os resultados permitem concluir que, o investimento numa instalação de 4 m² terá um *Payback* de 5 anos e permitirá uma poupança de 5480 € durante os 25 anos de vida útil do sistema.

Para uma correta análise da viabilidade económica do sistema, é ainda necessário o cálculo do Valor Interno Líquido (VAL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR). O VAL tem como objetivo avaliar a viabilidade de um projeto de investimento através do cálculo do valor atual de todos os seus *Cash-flows* e é calculado a partir da Equação 7.

$$VAL = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+t)^i} \quad (7)$$

Onde CF_i é o *Cash-Flow* no ano i , e t é a taxa de desconto.

Para o caso em estudo a taxa de desconto utilizada será 4,125%, valor da taxa de juro da última série de obrigações do tesouro [35].

A TIR representa a rentabilidade gerada por determinado investimento, ou seja, uma taxa de juro tal, que se o capital investido tivesse sido colocado a essa taxa, obteríamos exatamente a mesma taxa de rentabilidade final. Este parâmetro pode ser calculado a partir da Equação 8.

$$0 = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+TIR)^i} \quad (8)$$

Com os resultados da Tabela 26 e recorrendo às funcionalidades do Excel, foram calculados os indicadores económicos mencionados tendo sido obtido um VAL= 2751 € e uma TIR de 19%. Estes indicadores mostram que o investimento estudado é economicamente viável pois apresenta um VAL positivo e uma TIR superior à taxa de desconto utilizada.

Os mesmos cálculos foram realizados para as outras duas áreas de painéis estudadas, encontrando-se uma síntese dos cálculos efetuados na Tabela 26. A análise pormenorizada pode ser consultada no Anexo B.

Tabela 26: Síntese análise económica do sistema PV				
Área (m ²)		4	6	8
1º ano	Potência instalada (kWp)	0,62	0,93	1,24
	Custo da instalação (€)	1144	1716	2288
	Energia produzida (kWh)	1015	1523	2030
	Energia consumida da rede (kWh)	2215	1723	1231
	Energia anual consumida (kWh)	3200	3200	3200
	Contribuição do PV (%)	30,77	46,16	61,54
25ºano	<i>Payback</i>	5 anos	5 anos	5 anos
	Poupança total (€)	5480,27	8220,45	10960,60
	VAL (€)	2751,30	4126,98	5502,64
	TIR (%)	19	19	19

Refletindo sobre os resultados mostrados, é possível concluir que os três investimentos analisados são economicamente viáveis, visto terem um VAL positivo e uma TIR com valor superior à taxa de desconto. Outra conclusão é que o tempo de retorno de investimento é baixo

em todos os casos, um resultado que pode ser explicado por não terem sido incluídos custos de manutenção nem a utilização de baterias. Caso fossem incluídas baterias no sistema, o investimento inicial iria aumentar consideravelmente, resultando em *Paybacks* mais demorados e em valores TIR diferentes para cada área considerada.

Bomba de Calor

Outro sistema de aquecimento foi proposto no tópico 6.3. Nesta solução uma bomba de calor alimentada pelo sistema PV foi sugerida, e as necessidades elétricas foram calculadas. Como foi concluído, esta solução é mais vantajosa para os modelos com isolamento, uma vez que as necessidades de aquecimento durante o período considerado são totalmente satisfeitas com o conjunto bomba/sistema fotovoltaico.

No entanto, para a situação atual (Modelo 1) é necessária energia adicional da rede para a satisfação das necessidades de aquecimento durante o período considerado (estação de aquecimento durante 6 horas). Com os dados apresentados na Tabela 22 foi calculado o custo da energia adicional da rede, apresentando-se os resultados na Tabela 27. Neste cálculo foi assumido um custo da eletricidade de 0,21 €/kWh.

Tabela 27: Custo elétrico adicional para o Modelo 1

		Custo da eletricidade adicional (€)			
	RPH	Q_{aquec} (kWh)	4 m ²	6 m ²	8 m ²
Modelo 1	1	8052	299,22	192,63	86,05
	0,8	7509	264,67	158,08	51,49

Numa abordagem simplista, a instalação de uma bomba de calor favorece economicamente os ocupantes. Analisando isoladamente o Modelo 1 com 1 RPH (situação atual da habitação), o custo anual da biomassa (335,52 €) é superior ao custo anual de energia elétrica (299,22 € para 4 m² de painéis). No entanto este valor é ainda acrescido ao custo de aquisição de 1969 € da bomba, do custo do sistema fotovoltaico e ainda de possíveis custos de manutenção.

Como não foi feita uma análise pormenorizada ao sistema fotovoltaico, a utilização de uma bomba de calor irá ser descartada, pois a análise custo/benefício em relação ao sistema de biomassa é afetada de diversas incógnitas. A energia associada ao sistema fotovoltaico irá assim, ser apenas utilizada para diminuir as necessidades associadas ao consumo elétrico anual.

AQS

Ao contrário da abordagem realizada no sistema fotovoltaico, neste sistema, foi escolhido um kit de instalação disponível no mercado, para se estudar a viabilidade económica desta solução. O kit escolhido é comercializado pela empresa Vulcano, encontrando-se os componentes e respetivos preços apresentados na Tabela 28. No preço final não estão incluídos custos de manutenção nem de instalação.

Tabela 28: Componentes sistema AQS [31]

Componente	Preço (€)
Coletor FCC-2S × 2	500
Ligações hidráulicas	65
Estrutura × 2	90
Ganchos × 2	110
Depósito SK 200 - ZB	830
Controlador B-SOL 50	170
Vaso de expansão SAG 25	75
Ligação e suporte vaso expansão AAS 1	55
Grupo de circulação AGS 5 e acessórios	183
Sistema (Sem IVA)	2778
Sistema (Com IVA)	3416,96

Conhecido o valor do investimento inicial, foi realizada uma análise económica semelhante à do sistema fotovoltaico com o objetivo de conhecer o tempo de *Payback* e ainda os indicadores económicos VAL e TIR.

Nesta análise foram utilizadas as Equações 9 e 10 para o cálculo das faturas anuais com e sem o sistema AQS.

$$Fatura\ção\ S/AQS = Consumo_{prop} \times preço\ propano \quad (9)$$

$$Fatura\ção\ C/AQS = (Consumo_{prop} - Q_{prop}) \times preço\ propano \quad (10)$$

Onde:

- Faturação C/AQS corresponde à fatura de gás anual sem o sistema AQS (€)
- Faturação C/AQS corresponde à fatura de gás anual com o sistema AQS (€),
- $Consumo_{prop}$ a quantidade de propano utilizada anualmente (kg)
- Q_{prop} é a quantidade de propano equivalente à energia útil extraída do sistema AQS assumindo um rendimento do esquentador de 75% (kWh)

Com valores obtidos foi calculada a poupança anual, descrita pela Equação 11.

$$Poupança\ anual = Fatura\ção\ S/AQS - Fatura\ção\ C/AQS \quad (11)$$

Neste estudo foi assumido um consumo anual de gás propano de 225 kg ou 2897 kWh (equivalente ao consumo anual de 5 garrafas de 45 kg) com um preço de aquisição de 1,91 €/kg (valor correspondente ao preço deste combustível em Maio de 2017).

Ao contrário do que se verifica com os o preço da eletricidade, o preço deste combustível tem variado nos últimos anos sendo que, não é possível estimar qual a inflação a considerar para os anos futuros. Outro aspeto diferente da análise do sistema PV, é que neste não foram consideradas degradações no sistema AQS. Todas as considerações mencionadas levam a que as poupanças anuais sejam constantes ao longo da vida útil do sistema AQS.

Na Tabela 29 estão apresentados os resultados obtidos em anos significativos da análise económica efetuada.

Tabela 29: Previsão económica sistema AQS

Ano	Preço Propano C/IVA (€)	Faturação S/AQS (€)	Q_{prop} (kg)	Faturação C/AQS (€)	Poupança Annual (€)	Cash-flows acumulados (€)
0	-	-	-	-	-	-3416,94
1	1,910	429,75	126,35	188,42	241,33	- 3175,61
14	1,910	429,75	126,35	188,42	241,33	-38,31
15	1,910	429,75	126,35	188,42	241,33	203,02
25	1,910	429,75	126,35	188,42	241,33	2616,33

Tendo em conta o investimento inicial, e considerando uma taxa de desconto de 4,125%, obtiveram-se os indicadores económicos.

Tabela 30: Indicadores económicos sistemas AQS

VAL	TIR	Payback
303,86 (€)	4,95 %	14 anos

Perante os resultados da Tabela 30 é possível concluir que o sistema estudado é economicamente viável pois foi obtido um VAL positivo e uma TIR superior à taxa de desconto assumida.

6.6 Análise energética final

Após o cálculo das necessidades energéticas de ambos os modelos e, com a análise económica realizada, várias conclusões foram retiradas, destacando-se duas como importantes para uma análise energética final. A primeira é que a instalação de apenas 3 cm de isolamento é suficiente para colocar a habitação dentro dos limites estabelecidos na lei. A segunda é que a proposta do sistema fotovoltaico alimentar a bomba de calor não traz benefícios significativos, visto já estar instalado um sistema de queima de biomassa. Com essas considerações em mente, o cenário mais realista foi estudado com a finalidade de se calcularem quais as contribuições finais dos sistemas de base renovável.

Nesta análise, mostrada na Tabela 31, são comparados os consumos energéticos anuais do Modelos 1 (1 RPH) com os do Modelo 2 (isolamento 3 cm e 0,6 RPH), incluindo as soluções de base renovável. Como esta comparação se baseia numa aproximação mais realista, as necessidades de aquecimento correspondem aos valores obtidos na Tabela 18 (sistema de biomassa durante a estação de aquecimento e 6 horas diárias) e a produção de eletricidade obtida pelo sistema PV corresponde ao cenário de serem instalados 4 m² (1 m²/ocupante).

Tabela 31: Consumo energético anual

		Consumo energia no Modelo 1 (kWh)	Consumo energia no Modelo 2 (kWh)
Fontes não renováveis	Eletricidade da rede	3200	2185
	Consumo de propano	2897	1270
Energia total de fontes não renováveis		6097	3455
Fontes renováveis	Biomassa	10737	5262
	Energia de AQS	-	1627
	Eletricidade PV	-	1015
Energia total de fontes renováveis		10737	7904
Consumo energético total		16834	11359

Analisando a Tabela 31, duas ideias podem ser retiradas. A primeira é que o consumo de energia anual do Modelo 2 é mais baixo, facto este que pode ser explicado pela diminuição das necessidades de aquecimento (mencionado no tópico 5.2.2). Em segundo lugar, com a instalação dos sistemas de base renovável, 70% da energia necessária depende apenas de fontes de base renovável, em vez dos 64% obtidos para o Modelo 1.

Este melhoramento poderá não parecer significativo (apenas 6%), no entanto, é necessário ter em consideração que a maioria das necessidades energéticas está associada às necessidades de aquecimento.

Para demonstrar o melhoramento nas necessidades energéticas dos sistemas PV e AQS, um cenário semelhante foi estudado, desta vez não incluindo as necessidades de aquecimento.

Neste cenário a utilização de energia de fontes renováveis passou de 0 a 43%, contribuindo o sistema PV com uma redução de 32 % de energia necessária da rede elétrica, e o sistema AQS com uma redução de 56% das necessidades de propano anuais.

Todas as modificações propostas levaram a que a habitação se aproximasse do conceito de N-ZEB. Como foi mencionado no tópico 2.7 num N-ZEB “*As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades*”, algo que foi conseguido com sucesso.

7. Conclusões e Trabalhos futuros

O objetivo principal da dissertação foi proporcionar um clima interior melhorado e menor dependência energética, recorrendo a soluções solares passivas e ativas, numa residência existente em Gondomar. Para este estudo foram criados dois Modelos de simulação, com o intuito de estudar qual o desempenho energético antes e depois da implementação das soluções consideradas.

Os resultados do Modelo 1 demonstraram que a habitação atual não está em conformidade com os valores limites da legislação portuguesa, apresentando elevadas necessidades de aquecimento ($111,57 \text{ kWh/m}^2$) para manter temperaturas de conforto (entre 20 e 25°C). Este resultado foi algo esperado, visto os ocupantes experienciam desconforto durante grande parte do ano. Quanto às necessidades de arrefecimento, estas estão concordantes com a diretiva portuguesa utilizada.

Para a melhoria de condições de conforto, foi proposto o Modelo 2. Este modelo possui as mesmas características geométricas do Modelo 1, contudo como foi mencionado, o Modelo 2 inclui um conjunto de soluções solares passivas e ativas. As soluções solares passivas incluíram a instalação de isolamento externo, uma mudança das janelas, e um horário de abertura e fecho dispositivos de sombreamento externos. O mesmo estudo energético feito para o Modelo 1 foi realizado para o Modelo 2 com a finalidade de se estudar o efeito das soluções solares ativas propostas.

Várias conclusões foram retiradas da análise feita a este modelo. Em primeiro lugar, provou-se que um de isolamento superior a 3 cm não resulta em melhorias significativas das necessidades de aquecimento. Esta conclusão resultou de uma análise energética onde foram comparados os efeitos de espessuras de isolamento de 3 cm, 5 cm e 7 cm em modelos com a mesma taxa de renovações horária (0,8 RPH). Os resultados mostraram que o aumento de isolamento de 3 cm para 7 cm resulta numa redução de necessidades de aquecimento de apenas 8%.

Em segundo lugar, a instalação de 3 cm de isolamento e mudança das janelas (mudança na taxa de renovação de ar) coloca as necessidades de aquecimento dentro dos valores limites da legislação considerada.

Por fim, caso seja considerado um horário de abertura e fecho dos dispositivos de sombreamento externo, é possível de obter reduções anuais na ordem dos 60-70% das necessidades de arrefecimento.

Relativamente aos sistemas de base renovável, foi realizada uma análise económica e energética a cada um dos sistemas propostos. Economicamente, os resultados mostraram que o investimento nas soluções estudadas seria um investimento viável, compensando os ocupantes a longo prazo. Energeticamente, a instalação de 4 m^2 de painéis fotovoltaicos resultaria numa

redução de 31% da energia necessária da rede elétrica e a proposta de um sistema AQS de circulação forçada (4 m²) permitiria reduzir as necessidades anuais de propano em 56%.

7.1 Trabalhos futuros

Como o objetivo deste trabalho era melhorar o clima interior e diminuir a dependência energética da habitação, isso levou ao estudo de várias soluções energéticas e consequentemente, a um estudo geral das soluções propostas.

A nível de soluções passivas seria interessante o estudo de desempenho energético com diferentes tipos de janelas instaladas e diferentes taxas de infiltração. Um destes estudos poderia incluir diferentes taxas de renovação na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento. Caso fossem escolhidos os valores de referência do REH, isso certamente levaria a um melhor desempenho energético anual. Outro trabalho possível seria a realização de um teste da porta ventiladora e uma campanha de medição de temperaturas com o objetivo de caracterizar corretamente a estes parâmetros da habitação.

Quanto às soluções de base renovável, como apenas foi feito um estudo geral, as soluções escolhidas poderão não ser as melhores energeticamente ou economicamente.

O melhor exemplo desta abordagem é o sistema fotovoltaico. Neste sistema foram apenas utilizados os valores relativos à simulação da produção de energia fotovoltaica, não considerando o armazenamento em baterias nem um horário de consumo elétrico. Estas considerações levaram a resultados otimistas, algo que poderá não corresponder à realidade. Um estudo pormenorizado deste sistema poderia levar a diferentes conclusões.

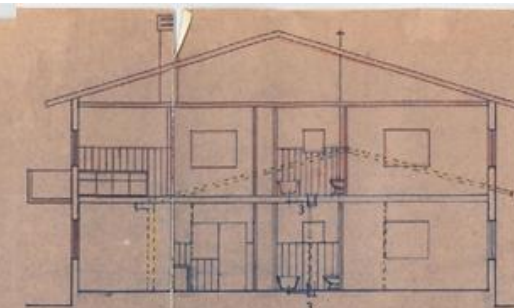
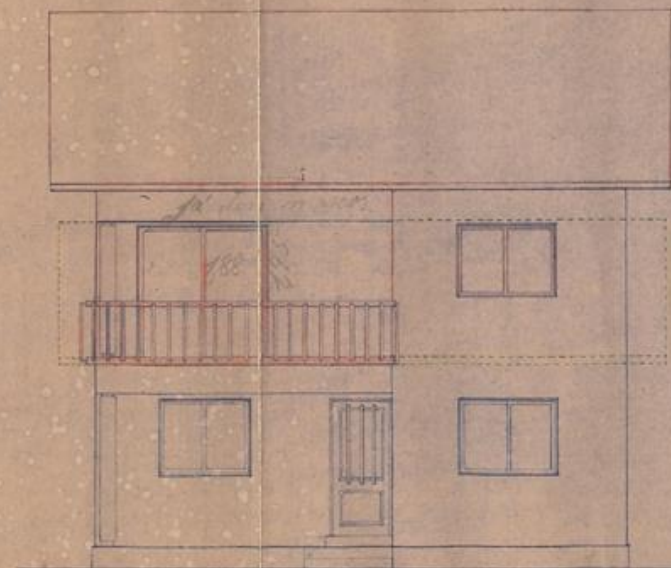
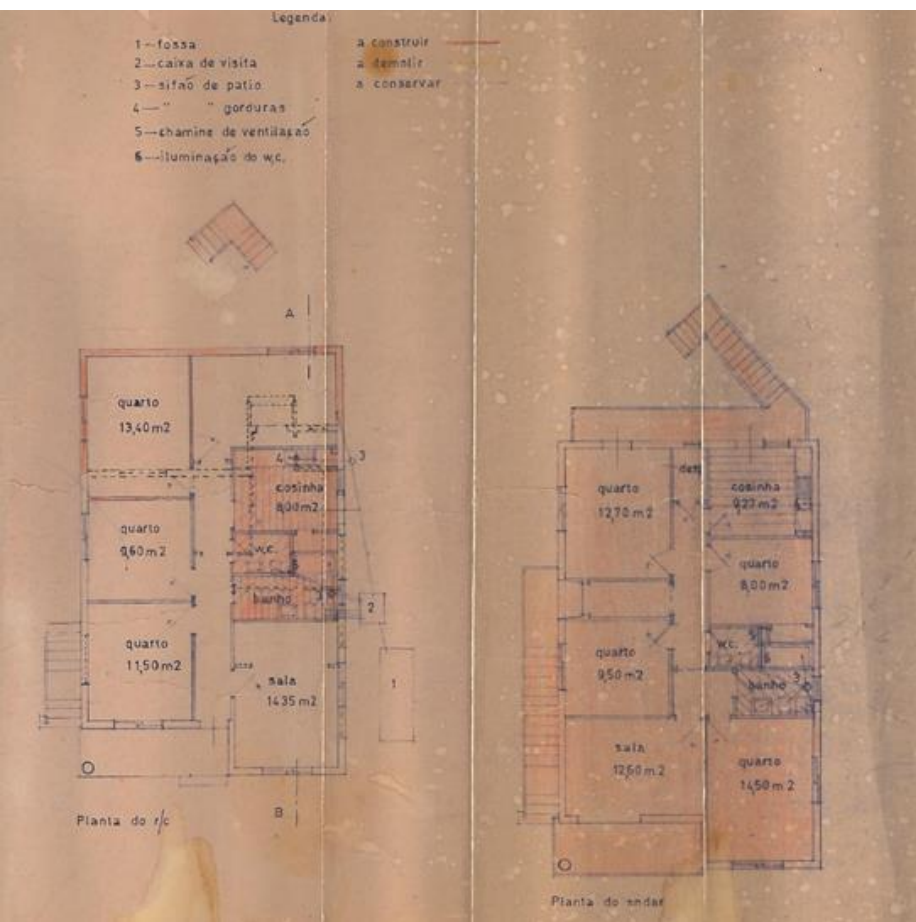
Outro estudo interessante seria a simulação do sistema de aquecimento de águas sanitárias no software TRNSYS em vez do SolTerm, ou ainda a simulação nos dois comparando resultados.

Referências

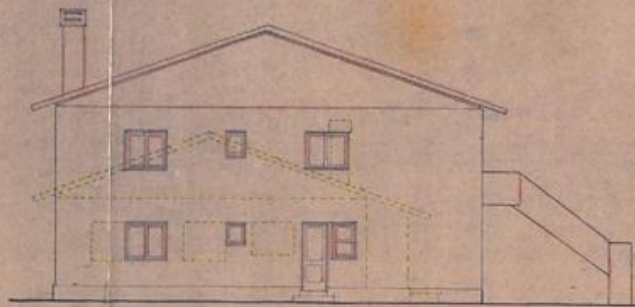
- [1] Wesselink B.; Harmsen B.; Eichhammer W. - *Energy demand in the EU: a comparison of forecasts and ambitions*, 2011
- [2] Eurostat - *Energy savings – annual data* [Em linha]. 2016. Disponível em: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ind_334a&lang=en
- [3] Eurostat, *Energy saving statistics* [Em linha]. 2016. Disponível em: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_saving_statistics
- [4] Eurostat, *Final energy consumption by sector* [Em linha]. 2016. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tsdpc320&language=en>
- [5] BPIE - *Europe's buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings*, 2011. ISBN 9789491143014. p.7-10
- [6] Abreu M., Oliveira R., Lopes J. - O contexto atual da reabilitação energética do parque edificado em Portugal, Coimbra 2012, Congresso Construção, p.3-4
- [7] Decreto-Lei nº40/90, de 6 de Fevereiro. *Diário da República nº31/90 – I Série A*. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa
- [8] Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril. *Diário da República nº67/06 – I Série A*. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa
- [9] Decreto-Lei nº 118/98, de 7 de Maio *Diário da República nº105/98 – I Série A*. Ministério das Obras Públicas e Comunicações. Lisboa
- [10] UE Diretiva 2002/91/CE – Directiva do Parlamento europeu e do conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético de edifícios, Jornal oficial das comunidades europeias
- [11] ADENE, O novo enquadramento legal do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), Miraflores 2013
- [12] 3º Suplemento *Diário da República nº234/2013 - II Série* Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa
- [13] LNEG, CLIMAS-SCE - *Software* para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios [Em linha]. 2017. Disponível em <http://www.lneg.pt/servicos/328/2263/>
- [14] Portaria n.º 379-A/2015 de 22 de Outubro. *Diário da República nº207/2015 – I Série*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa
- [15] Comissão Europeia, 2013, Relatório da comissão ao parlamento europeu e ao conselho, progresso dos Estados-Membros na via para edifícios com necessidades quase nulas de energia
- [16] Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto. *Diário da República nº118/2013 – I Série* Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa
- [17] DGEG - *National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings in Portugal*. 2013.
- [18] Ecofys - *Overview of member states information on NZEBs – working version of the progress report – final reports*, 2014. Project number: BUIDE14975

- [19] TRNSYS 17 - A Transient System Simulation Program: Volume 1, Solar Energy Lab, University of Wisconsin-Madison, 2017.
- [20] Meteonorm [Em linha]. 2017. Disponível em: <http://www.meteonorm.com/en/features>
- [21] LNEC - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, 2006. ISBN-10: 972-49-2065-8
- [22] Saint-Gobain Glass [Em linha]. 2017. Disponível em <http://saint-gobain-glass.com/>
- [23] Brochado Nuno - Optimização das perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto, Porto, 2009.
- [24] EN ISO 7730:2005, *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, Switzerland, 2005.
- [25] -ASHRAE 62.1:2010, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, 2010.
- [26] FASSALUSA Lda. – Sistema “Capote” Isolamento térmico [Em linha]. 2017. Disponível em: <http://www.fassabortolo.pt/detalhe/pressarea/10-sistemacappottopt/pressareapo-1/sistema-'capote'-isolamento-t%C3%A9rmico.html>
- [27] TekBiomass [Em linha]. 2017. Disponível em: <https://www.tekbiomasse.com/simulador/>
- [28] Sunearthtools [Em linha]. 2017. Disponível em: <https://www.sunearthtools.com/>
- [29] Panasonic – Novos produtos, Soluções eficientes 2016/2017, 2017. Disponível em: <http://www.panasonicproclub.com/uploads/ES/catalogues/2016/SP%20GENERAL%20PVP%2016%20LR.pdf>
- [30] Vulcano – Painéis solares compacto (FCC-2S), 2017. Disponível em: http://www.vulcano.pt/consumidor/productos/catalogo/producto_17856
- [31] Vulcano – Tabela de preços solar térmico, 2015. Disponível em: <http://www.sanipower.pt/pdf/tabelasS/0038A-s.pdf>
- [32] ArnulfJäger-Waldau - *PV Status Report* 2016, 2016. ISBN 978-92-79-63054-5. P50-52
- [33] Fraunhofer institute for solar energy systems - *Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies*, 2013.
- [34] Pordata – Preços da eletricidade para utilizadores domésticos e industriais (Euro/ECU), 2016. Disponível em: <http://www.pordata.pt/DB/Europa/Ambiente+de+Consulta/Tabela>
- [35] IGCP – Obrigações do Tesouro, 2017. Disponível em: <https://www.igcp.pt/pt/menu-lateral/instrumentos-de-divida/obrigacoes-do-tesouro/>

Anexo A – Desenho da Habitação

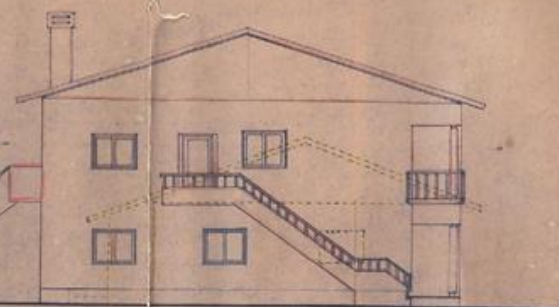


Corte A-B



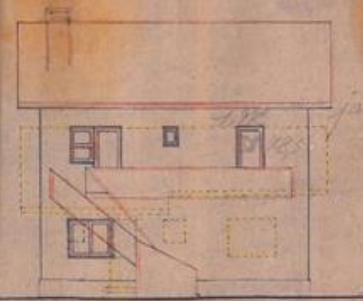
Alçada esquerda

192X086



Alçada 1. esquerda

ADITAMENTO AO PROCESSO Nº 72774



Alçada posterior

Anexo B – Cálculos

Tabela B.1: Necessidades aquecimento Modelo 1

	Q _{aquec} (Modelo 1)					
	1 RPH			0,8 RPH		
	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão
JAN	2797	2710	1556	2614	2526	1482
FEV	2259	2148	1237	2106	1994	1176
MAR	1910	1721	1015	1766	1575	957
ABR	1414	1189	698	1295	1070	650
MAI	812	582	348	727	506	317
JUN	264	130	71	220	97	58
JUL	6	0	0	2	0	0
AGO	6	0	0	1	0	0
SET	146	51	39	119	35	31
OUT	730	537	367	662	473	340
NOV	1934	1778	1060	1803	1647	1007
DEZ	2695	2600	1488	2522	2426	1419

Anual kWh	14973	13446	7879	13836	12349	7436
	36299			33622		

Anual kWh/m ²	141,30	126,89	69,48	130,57	116,54	65,58
	111,57			103,35		

Tabela B.2: Necessidades de aquecimento Modelo 2 (Isol 3 cm)

	Q _{aquec} (Modelo 2 -Isolamento 3 cm)					
	0,8 RPH			0,6 RPH		
	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão
JAN	1516	1441	1156	1333	1257	1083
FEV	1214	1103	892	1060	949	831
MAR	988	789	655	842	646	597
ABR	703	463	388	581	351	339
MAI	369	169	143	290	111	117
JUN	55	4	3	22	0	1
JUL	0	0	0	0	0	0
AGO	0	0	0	0	0	0
SET	23	0	1	10	0	0
OUT	323	158	188	250	109	159
NOV	1033	876	762	902	744	709
DEZ	1474	1391	1114	1301	1217	1045

Anual kWh	7697	6395	5302	6592	5385	4881
	19394			16858		

Anual kWh/m ²	72,64	60,34	46,76	62,21	50,81	43,04
	59,61			51,82		

Tabela B.3: Necessidades de aquecimento Modelo 2 (Isol 5 cm)

	Q _{aquec} (Modelo 2 -Isolamento 5 cm)					
	0,8 RPH			0,6 RPH		
	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão
JAN	1347	1313	1120	1164	1129	1046
FEV	1077	1000	863	924	845	802
MAR	871	704	629	725	562	571
ABR	618	403	368	495	294	319
MAI	317	139	132	239	85	106
JUN	39	2	2	11	0	0
JUL	0	0	0	0	0	0
AGO	0	0	0	0	0	0
SET	14	0	0	4	0	0
OUT	278	132	176	203	87	146
NOV	920	791	737	789	659	684
DEZ	1313	1270	1079	1139	1095	1010
Anual kWh	6795	5753	5107	5694	4757	4684
	17655			15136		
Anual kWh/m ²	64,12	54,29	45,04	53,73	44,89	41,31
	54,27			46,52		

Tabela B.4: Necessidades de aquecimento Modelo 2 (Isol 7 cm)

	Q _{aquec} (Modelo 2 -Isolamento 7 cm)					
	0,8 RPH			0,6 RPH		
	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão
JAN	1250	1241	1099	1067	1057	1026
FEV	1000	941	847	846	787	785
MAR	805	655	614	659	514	555
ABR	570	370	357	446	263	307
MAI	287	124	126	210	71	100
JUN	31	1	2	6	0	0
JUL	0	0	0	0	0	0
AGO	0	0	0	0	0	0
SET	10	0	0	2	0	0
OUT	253	118	169	177	76	139
NOV	856	743	723	725	612	670
DEZ	1221	1201	1060	1048	1026	990

Anual kWh	6282	5394	4997	5187	4406	4572
	16673			14165		

Anual kWh/m ²	59,29	50,91	44,06	48,94	41,58	40,32
	51,25			43,54		

Tabela B.5: Necessidades de arrefecimento Modelo 1

	Q _{arref} (Modelo 1)					
	1 RPH			0,8 RPH		
	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão
JAN	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0
ABR	0	0	0	0	0	0
MAI	0	0	0	0	0	0
JUN	8	59	48	8	63	52
JUL	17	93	64	16	98	69
AGO	7	43	25	6	46	28
SET	3	33	22	3	37	25
OUT	0	0	0	0	0	0
NOV	0	0	0	0	0	0
DEZ	0	0	0	0	0	0
Anual kWh	35	228	160	34	243	174
	422			451		
Anual kWh/m ²	0,33	2,15	1,41	0,32	2,30	1,54
	1,30			1,39		

Tabela B.6: Necessidades de arrefecimento Modelo 2 (Isol 3 cm)

	Q _{arref} (Modelo 2 – isolamento 3 cm)											
	Sem portada						Com portada					
	0,8 RPH			0,6 RPH			0,8 RPH			0,6 RPH		
	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão
JAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ABR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUN	0	43	49	0	54	56	0	10	27	0	13	32
JUL	0	82	76	0	104	92	0	25	41	0	31	49
AGO	0	39	31	0	54	42	0	10	13	0	12	16
SET	0	42	28	0	53	32	0	9	13	0	12	16
OUT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DEZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anual kWh	1	206	184	1	265	222	0	55	93	0	69	114
	391			488			148			183		
Anual kWh/m ²	0,01	1,94	1,63	0,01	2,50	1,96	0,00	0,52	0,82	0,00	0,65	1,00
	1,20			1,50			0,45			0,56		

Tabela B.7: Necessidades de arrefecimento Modelo 2 (Isol 5 cm)

	Q _{arref} (Modelo 2 – 5 isolamento cm)											
	Sem portada						Com portada					
	0,8 RPH			0,6 RPH			0,8 RPH			0,6 RPH		
	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão
JAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ABR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUN	0	42	49	0	54	57	0	8	25	0	11	31
JUL	0	86	80	0	114	98	0	24	41	0	31	51
AGO	0	43	34	0	62	47	0	9	13	0	12	16
SET	0	44	29	0	56	33	0	9	13	0	12	17
OUT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DEZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anual kWh	1	215	191	1	287	235	0	50	92	0	65	115
	407			522			142			180		

Anual kWh/m ²	0,01	2,02	1,69	0,01	2,70	2,07	0,00	0,47	0,81	0,00	0,62	1,01
	1,25			1,61			0,44			0,55		

Tabela B.8: Necessidades de arrefecimento Modelo 2 (Isol 7 cm)

	Q _{arref} (Modelo 2 – 7 isolamento cm)											
	Sem portada						Com portada					
	0,8 RPH			0,6 RPH			0,8 RPH			0,6 RPH		
	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão	Piso 1	Piso 2	Sótão
JAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ABR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUN	0	41	50	0	54	57	0	7	25	0	10	31
JUL	1	90	82	0	122	102	0	23	41	0	31	52
AGO	0	46	36	0	70	51	0	9	13	0	12	17
SET	0	45	29	0	58	34	0	8	13	0	12	17
OUT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DEZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anual kWh	1	223	197	1	304	244	0	48	92	0	65	116
	420			549			140			181		

Anual kWh/m ²	0,01	2,10	1,73	0,01	2,87	2,15	0,00	0,45	0,81	0,00	0,61	1,03
	1,29			1,69			0,43			0,56		

Tabela B.9: Tabela de cálculo RCCTE

Folha de Cálculo FC IV.1f
Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m ²
Paredes exteriores		279,46
Coberturas exteriores		130,6
Pavimentos exteriores		105,97
Envidraçados exteriores		24,96
	(Áreas equivalentes, A . τ)	
De FCIV.1b:		
Paredes interiores		-
Coberturas interiores		-
Pavimentos interiores		-
Envidraçados interiores		-
Área total:		540,99
		/
Volume (de FCIV.1d):		701,46
		=
FF		0,77

Graus-dias no local
(°C.dia)

(do Quadro
III.1)

1610

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	Auxiliar 84,1789
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni
(kWh/m².ano)

84,1789

Tabela B.10: Previsão económica sistema PV (6 m²)

Ano	Preço eletricidade S/IVA (€)	Faturação S/PV (€)	Produção C/PV (kWh)	Faturação C/PV (€)	Poupança Annual (€)	Cash-flows acumulados (€)
0	-	-	-	-	-	-1715,85
1	0,1641	971,43	1477,02	673,30	298,13	-1417,72
2	0,1690	990,81	1467,12	685,80	305,01	-1112,71
3	0,1741	1010,77	1457,29	698,71	312,06	-800,65
4	0,1793	1031,32	1447,53	712,06	319,27	-481,39
5	0,1847	1052,50	1437,83	725,86	326,64	-154,75
6	0,1902	1074,31	1428,20	740,12	334,19	179,44
7	0,1959	1096,77	1418,63	754,86	341,91	521,35
8	0,2018	1119,91	1409,13	770,10	349,80	871,15
9	0,2079	1143,74	1399,68	785,85	357,88	1229,03
10	0,2141	1168,28	1390,31	802,13	366,15	1595,18
11	0,2205	1193,57	1380,99	818,96	374,61	1969,79
12	0,2272	1219,61	1371,74	836,35	383,26	2353,05
13	0,2340	1246,43	1362,55	854,32	392,11	2745,17
14	0,2410	1274,06	1353,42	872,88	401,17	3146,34
15	0,2482	1302,51	1344,35	892,07	410,44	3556,77
16	0,2557	1331,82	1335,34	911,90	419,92	3976,69
17	0,2633	1362,01	1326,40	932,39	429,62	4406,31
18	0,2712	1393,10	1317,51	953,56	439,54	4845,85
19	0,2794	1425,13	1308,68	975,44	449,70	5295,55
20	0,2878	1458,12	1299,91	998,04	460,08	5755,63
21	0,2964	1492,10	1291,21	1021,39	470,71	6226,34
22	0,3053	1527,09	1282,55	1045,51	481,58	6707,92
23	0,3144	1563,14	1273,96	1070,43	492,71	7200,63
24	0,3239	1600,27	1265,43	1096,18	504,09	7704,72
25	0,3336	1638,51	1256,95	1122,78	515,73	8220,45

Tabela B.11: Indicadores económicos sistema PV (6 m²)

VAL	TIR	Payback
4126,98 €	19%	5 anos

Tabela B.12: Previsão económica sistema PV (8 m²)

Ano	Preço eletricidade S/IVA (€)	Faturação S/PV (€)	Produção C/PV (kWh)	Faturação C/PV (€)	Poupança Annual (€)	Cash-flows acumulados (€)
0	-	-	-	-	-	-2287,80
1	0,1641	971,43	1969,36	573,93	397,50	-1890,30
2	0,1690	990,81	1956,17	584,12	406,68	-1483,61
3	0,1741	1010,77	1943,06	594,69	416,08	-1067,54
4	0,1793	1031,32	1930,04	605,63	425,69	-641,85
5	0,1847	1052,50	1917,11	616,98	435,52	-206,33
6	0,1902	1074,31	1904,27	628,72	445,58	239,25
7	0,1959	1096,77	1891,51	640,90	455,87	695,13
8	0,2018	1119,91	1878,83	653,50	466,40	1161,53
9	0,2079	1143,74	1866,25	666,56	477,18	1638,71
10	0,2141	1168,28	1853,74	680,08	488,20	2126,91
11	0,2205	1193,57	1841,32	694,09	499,48	2626,39
12	0,2272	1219,61	1828,98	708,59	511,01	3137,40
13	0,2340	1246,43	1816,73	723,61	522,82	3660,22
14	0,2410	1274,06	1804,56	739,16	534,89	4195,12
15	0,2482	1302,51	1792,47	755,26	547,25	4742,37
16	0,2557	1331,82	1780,46	771,93	559,89	5302,26
17	0,2633	1362,01	1768,53	789,19	572,82	5875,08
18	0,2712	1393,10	1756,68	807,05	586,06	6461,14
19	0,2794	1425,13	1744,91	825,54	599,59	7060,73
20	0,2878	1458,12	1733,22	844,68	613,44	7674,18
21	0,2964	1492,10	1721,61	864,48	627,61	8301,79
22	0,3053	1527,09	1710,07	884,98	642,11	8943,90
23	0,3144	1563,14	1698,61	906,20	656,94	9600,84
24	0,3239	1600,27	1687,23	928,15	672,12	10272,96
25	0,3336	1638,51	1675,93	950,87	687,64	10960,60

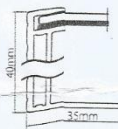
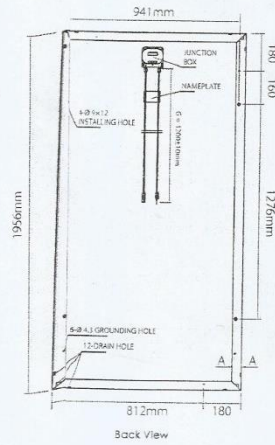
Tabela B.13: Indicadores económicos sistema PV (8 m²)

VAL	TIR	Payback
5502,64 €	19%	5 anos

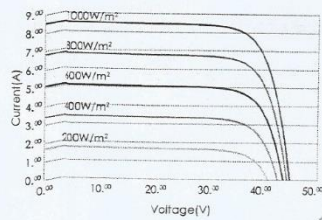
Anexo C – Documentos Técnicos

TS-M-PD14 THE UTILITY MODULE

DIMENSIONS OF PV MODULE TSM-PD14



I-V CURVES OF PV MODULE TSM-290 PD14



CERTIFICATION



TrinaSolar
Smart Energy Together

ELECTRICAL DATA @ STC

	TSM-290 PD14	TSM-295 PD14	TSM-300 PD14	TSM-305 PD14	TSM-310 PD14
Peak Power Watts-P _{max} (Wp)	290	295	300	305	310
Power Output Tolerance-P _{max} (%)	0/+3	0/+3	0/+3	0/+3	0/+3
Maximum Power Voltage-V _{mp} (V)	36.1	36.6	36.9	37.0	37.0
Maximum Power Current-I _{mp} (A)	8.04	8.07	8.13	8.25	8.38
Open Circuit Voltage-V _{oc} (V)	44.9	45.2	45.3	45.4	45.5
Short Circuit Current-I _{sc} (A)	8.53	8.55	8.60	8.75	8.85
Module Efficiency η _m (%)	14.9	15.2	15.5	15.7	16.0

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.
Average efficiency reduction of 4.5% at 200 W/m² according to EN 60904-1.

ELECTRICAL DATA @ NOCT

	TSM-290 PD14	TSM-295 PD14	TSM-300 PD14	TSM-305 PD14	TSM-310 PD14
Maximum Power-P _{max} (Wp)	211	214	218	222	226
Maximum Power Voltage-V _{mp} (V)	32.6	33.0	33.3	33.7	33.8
Maximum Power Current-I _{mp} (A)	6.47	6.48	6.55	6.59	6.68
Open Circuit Voltage (V)-V _{oc} (V)	40.9	41.2	41.3	41.4	41.5
Short Circuit Current (A)-I _{sc} (A)	6.97	7.00	7.04	7.06	7.16

NOCT: Irradiance at 300 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Multicrystalline 156 × 156 mm (6 inches)
Cell orientation	72 cells (6 × 12)
Module dimensions	1956 × 992 × 40 mm (77 × 39.05 × 1.57 inches) <i>A_{mod} = 1.740 m²</i>
Weight	27.6 kg (60.8 lb)
Glass	High transparency solar glass 4.0 mm (0.16 inches) <i>L₁₂ = 3.88 m²</i>
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP 65 or IP 67 rated
Cables	Photovoltaic Technology cable 4.0 mm² (0.006 inches²), 1200 mm (47.2 inches)
Connector	MC4-EVO 3

TEMPERATURE RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.44%/°C
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.33%/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	0.046%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000V DC(IEC)/1000V DC(UL)
Max Series Fuse Rating	15A

WARRANTY

10 year Product Workmanship Warranty
25 year Linear Power Warranty

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

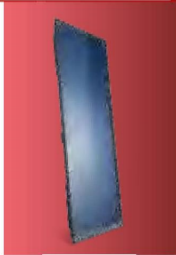




Modules per box: 25 pieces
Modules per 40' container: 550 pieces

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
© 2013 Trina Solar Limited. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

Anexo C. 1: Catálogo do módulo PV

DADOS TÉCNICOS

Coletores Solares

CARACTERÍSTICAS	PREMIUMSUN	PREMIUMSUN	WARMESUN	WARMESUN	COMPACTO
MODELO	FKT-2S	FKT-2W	FKC-2S	FKC-2W	FCC-2S
					
Montagem	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Dimensões A x L x P (mm)	2170 x 1175 x 87	1175 x 2170 x 87	2017 x 1175 x 87	1175 x 2017 x 87	2026 x 1032 x 67
Área total (m²)	2.55	2.55	2.37	2.37	2.09
Área útil abertura (m²)	2.426	2.426	2.25	2.25	1.936
Área do absorvedor (m²)	2.350	2.370	2.18	2.18	1.921
Volume do coletor (l)	1.61	1.96	0.94	1.35	0.80
Peso em vazio (kg)	45	45	40	40	30
Pressão máxima trabalho (bar)	10	10	6	6	6
Caudal nominal (l/h)	50	50	50	50	50
Material da caixa	Fibra de vidro numa só peça (SMC)		Fibra de vidro numa só peça (SMC)		Alumínio
Isolamento* (mm)	Lã mineral (55)	Lã mineral (55)	Lã mineral (55)	Lã mineral (55)	Lã mineral (25)
Espessura de vidro (mm)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Coletor	Altamente seletivo	Altamente seletivo	Altamente seletivo	Altamente seletivo	Altamente seletivo
Tratamento Coletor	PVD	PVD	PVD	PVD	PVD
Circuito hidráulico	Dupla serpentina	Dupla serpentina	Grelha de tubos	Grelha de tubos	Grelha de tubos

* Isolamento para gamas PremiumSun e WarmSun de 55 mm de espessura e isolamento para gama Compacto de 25 mm.
Nota: Todos os coletores possuem certificado CE/Solar Keymark.

CURVA DE RENDIMENTO INSTANTÂNEO SEGUNDO EN 12975-2 (baseada na área de abertura)					
MODELO	PREMIUMSUN		WARMESUN		COMPACTO
	FKT-2S	FKT-2W	FKC-2S	FKC-2W	FCC-2S
Rendimento ótico - Fator de eficiência	0.794	0.802	0.766	0.770	0.761
Coef. perda linear	W/m² K	3.863	3.833	3.216	3.871
Coef. perda secundário	W/m² K2	0.013	0.015	0.015	0.012
					0.013

Anexo C. 2: Catálogo do coletor solar

NOVO



Split Etherea Inverter+									
Kit prateado	KIT-XE7-SKE	KIT-EY-SKE	KIT-XE12-SKE	—	KIT-E15-SKE	KIT-E18-SKE			
Kit branco mate	KIT-E7-SKE	KIT-EY-SKE	KIT-E12-SKE	—	KIT-E15-SKE	KIT-E18-SKE			
Capacidade frigorífica	Nominal (mín. - máx.) kW	2,05 (0,75 - 2,40)	2,50 (0,85 - 3,00)	3,50 (0,85 - 4,00)	4,20 (0,85 - 5,00)	5,00 (0,98 - 5,60)			
EER ¹⁾	Nominal (mín. - máx.) W/W	4,51 (3,13 - 4,29) A	4,67 (3,54 - 4,11) A	4,07 (3,54 - 3,67) A	3,33 (3,27 - 3,13) A	3,16 (3,50 - 3,08) B			
SEER	Nominal W/W	7,10 4,35	8,20 4,35	8,10 4,35	6,60 4,35	6,90 4,35			
Pot design (frio)	Nominal (mín. - máx.) kW	2,1	2,5	3,5	4,2	5,0			
Consumo em frio	Nominal (mín. - máx.) kW/h	0,455 (0,240 - 0,560)	0,535 (0,240 - 0,730)	0,860 (0,240 - 1,090)	1,260 (0,260 - 1,600)	1,580 (0,280 - 1,820)			
Consumo anual de eletricidade (frio) ²⁾	Nominal (mín. - máx.) kW	104	07	151	223	254			
Capacidade calorífica	Nominal (mín. - máx.) kW	2,80 (0,70 - 4,00)	3,40 (0,80 - 5,00)	4,00 (0,80 - 5,80)	5,30 (0,80 - 6,80)	5,80 (0,98 - 7,50)			
Capacidade calorífica a -7 °C	Nominal (mín. - máx.) kW	2,38	2,95	3,40	4,11	4,66			
COP ¹⁾	Nominal (mín. - máx.) W/W	4,48 (3,89 - 4,00) A	4,59 (4,44 - 3,82) A	4,21 (4,44 - 3,72) A	3,58 (4,21 - 3,42) B	3,30 (2,88 - 3,10) C			
SCOP	Nominal W/W	4,60 4,35	4,70 4,35	4,80 4,35	3,90 4,35	4,20 4,35			
Pot design a -10 °C	Nominal kW	2,1	2,7	3,2	3,6	4,2			
Consumo em calor	Nominal (mín. - máx.) kW	0,625 (0,180 - 1,000)	0,740 (0,180 - 1,310)	0,950 (0,180 - 1,560)	1,480 (0,190 - 1,990)	1,760 (0,340 - 2,420)			
Consumo anual de eletricidade (calor) ²⁾	Nominal (mín. - máx.) kW/h	639	804	933	1,292	1,400			
Unidade interior prateada	CS-XE7SKEW	CS-XE12SKEW	CS-XE12SKEW	—	CS-XE18SKEW	CS-XE18SKEW			
Unidade interior branco mate	CS-E7SKEW-M	CS-E12SKEW-M	CS-E12SKEW-M	CS-E15SKEW-M	CS-E18SKEW-M	CS-E18SKEW-M			
Alimentação	V	230	230	230	230	230			
Fusível recomendado	A	16	6	16	16	16			
Ligação interior/exterior	Frio / Calor	4 x 1,5	4 x 1,5	4 x 1,5	4 x 1,5	4 x 2,5			
Volume de ar	m³/h	694 / 648	800 / 678	642 / 720	672 / 732	702 / 744			
Desumificação	l/h	1,3	5	2,0	2,4	2,8			
Nível de pressão sonora ³⁾	Frio - Calor (A) / Ba / S-Ba)	37 / 24 / 19 - 30 / 25 / 19	39 / 25 / 19 - 40 / 27 / 19	42 / 28 / 19 - 42 / 33 / 19	43 / 31 / 25 - 43 / 35 / 25	44 / 37 / 34 - 44 / 37 / 34			
Dimensões / Peso líquido	Frio - Calor (A) / Ba / S-Ba)	295 x 919 x 194 / 9	295 x 919 x 194 / 10	295 x 919 x 194 / 10	295 x 919 x 194 / 10	295 x 919 x 194 / 10			
Unidade exterior	A x L x P	CU-E7SKE	CU-E12SKE	CU-E12SKE	CU-E15SKE	CU-E18SKE			
Volume de ar	Frio / Calor	m³/h	722 / 1,722	722 / 1,722	722 / 1,722	722 / 1,722			
Nível de pressão sonora ³⁾	Frio / Calor (A)	45 / 46	46 / 47	48 / 50	49 / 51	47 / 47			
Dimensões ⁴⁾ / Peso líquido	A x L x P	542 x 780 x 289 / 30	542 x 780 x 289 / 33	619 x 824 x 299 / 35	619 x 824 x 299 / 32	695 x 875 x 320 / 46			
Ligação das tubagens	Líquido / gás	1/4 (6,35) / 3/8 (9,52)	1/4 (6,35) / 3/8 (9,52)	1/4 (6,35) / 3/8 (9,52)	1/4 (6,35) / 1/2 (12,70)	1/4 (6,35) / 1/2 (12,70)			
Comprimento da tubagem / Desnivel (int./ext.) ⁵⁾	m	3 - 15 / 15	3 - 15 / 15	3 - 15 / 15	3 - 15 / 15	3 - 20 / 15			
Consumo de gás adicional / Gás adicional	m³/g/m	5 / 20	5 / 20	7,5 / 20	7,5 / 20	7,5 / 20			
Intervalo de funcionamento	Frio / Calor (mín. - máx.) °C	-10 ~ +43 / -15 ~ +24	-10 ~ +43 / -15 ~ +24	-10 ~ +43 / -15 ~ +24	-10 ~ +43 / -15 ~ +24	-10 ~ +43 / -15 ~ +24			
Preço do kit prateado	€	1.049	1.129	1.249	—	1.969			
Preço do kit branco mate	€	949	1.029	1.149	1.639	1.869			

Anexo C. 3: Catálogo das bombas de calor

Energy assessment of the implementation of renewable energies in a Portuguese household

Ricardo Pinheiro¹, Ana I. Palmero-Marrero² and Armando C. Oliveira³

¹ University of Porto, Dept Mech.Eng., Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465, Porto, Portugal, em12124@fe.up.pt

² University of Porto, Dept Mech.Eng., Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465, Porto, Portugal, apalmero@fe.up.pt

³ University of Porto, Dept Mech.Eng., Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465, Porto, Portugal, acoliv@fe.up.pt

Abstract: This paper presents a detailed energy analysis of a 37-year-old house, located in Gondomar (Porto, Portugal). The current situation leads to overheating in the summer and low temperatures during the winter, causing high levels of discomfort to the occupants. With the aim to improve the overall comfort, several passive/active solar systems were proposed, and a complete energetic analysis was made. The household is located 100 m above the sea level and 13 km from the seashore. The place has a latitude and longitude of 41.2°N and 8.5°W, with a maritime temperate climate. The only air conditioning system used in the house is a wood-burning fireplace that distributes warm air through the rooms. During the Summer, no air conditioning is used. Throughout the year, comfortable conditions are not achieved for the occupants. Building energy requirements for the household in the cooling and heating seasons were quantified, under climatic conditions of Porto. The study was extended throughout a whole year: for the heating season, from November to April and for the cooling season, from May to October. Also, indoor temperatures were calculated through numerical simulations. The household and its components were modelled with the TRNSYS 17 simulation program. The climatic data were obtained through METEONORM, provided by TRNSYS and distributed under license from Meteotest. The results show that the integration of passive and active solar systems, guarantee an improvement in comfort and energy savings. The amount of energy required by the household is covered, to a very significant extent (approximately 71%), by energy from renewable sources. The renewable sources considered were solar energy and biomass. As passive measures, a change of the windows and the increase in wall insulation were considered. For the solar active systems, the application of thermal solar collectors for DHW and photovoltaic collectors for electricity generation at the household were analysed. The consumption of biomass in the burning fireplace was also assessed.

Keywords: Energy Efficiency; Building Simulation; TRNSYS; Renewable Energy